



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

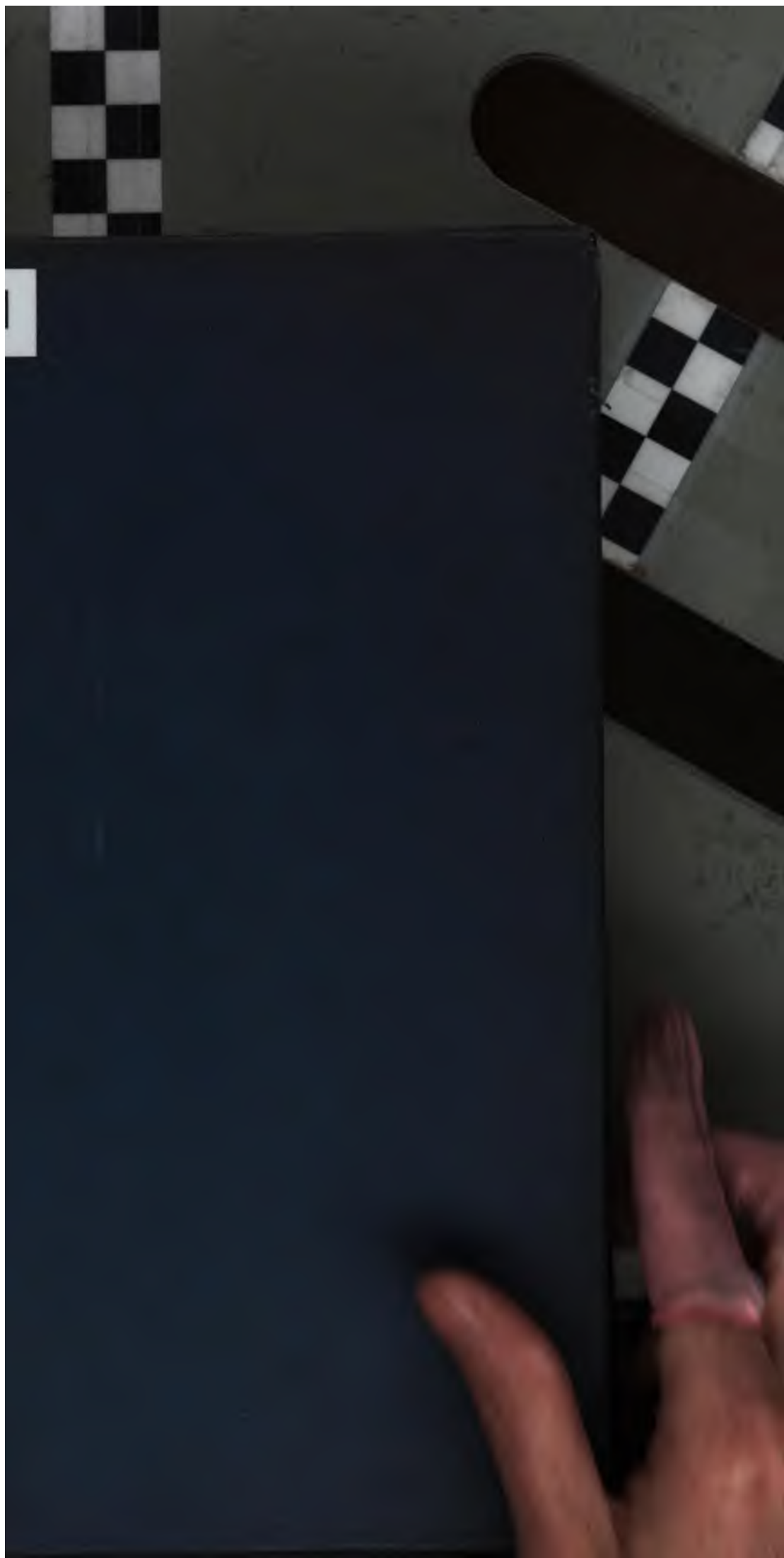
Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.











1

2

3

4

Eis- und **Kälteerzeugungs-Maschinen**

nebst einer Anzahl ausgeführter Anlagen

zur Erzeugung von Eis,
Abkühlung von Flüssigkeiten und Räumen.

Eine Darstellung des gegenwärtigen Standes dieses
Zweiges der Technik

herausgegeben

von

Gottlieb Behrend,
Ingenieur in Hamburg.

Vierte sehr vermehrte Auflage.

Mit 440 Abbildungen.



Halle a. S.
Verlag von Wilhelm Knapp.
1900.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
204291
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
R 1930. 4

ANDY WAB
ALAN
WABAN

Vorwort zur ersten Auflage.

Die Kälteerzeugung und Erzeugung von Eis hat eine so grosse Bedeutung sowohl für die Industrie, wie für den Bedarf des täglichen Lebens erlangt, dass man überall die Aufmerksamkeit sich darauf richten sieht.

Abgesehen von der grossen Wichtigkeit dieses Industriezweiges für verschiedene Fabrikationen wird die Verwendung von Eis für das Leben und seine Bedürfnisse immer grösser. Es wächst immer mehr die Erkenntniss, von welchem schädlichem Einfluss auf Leben und Gesundheit diejenigen Nahrungsmittel sind, die sich nicht mehr in völlig frischem Zustande befinden.

Der Einfluss der überall auf der Erde befindlichen, und überall ihre zerstörende Wirkung hervorrufenden Bakterien und Pilze auf Nahrungsmittel sowohl, wie auf die Gesundheit von Menschen und Thieren, lässt sich einzig und allein paralysiren durch entsprechende Kältegrade, unter denen die Nahrungsmittel gehalten werden, weil die Bakterien und Pilze bei niedrigen Temperaturen ihre Thätigkeit einstellen.

In Natureis, das aus Flüssen und Bächen, sogar oft genug aus stehendem Gewässer entnommen wird, sind alle möglichen organischen, in Verderben übergegangene Stoffe eingefroren, die beim Aufthauen sofort der zerstörenden Wirkung der Bakterien und Pilze wieder verfallen. Dass daher die Verwendung von Natureis in den Eisschränken unserer

*

Wohnungen nicht in dem Maasse schützend und sauber ist, wie diejenige künstlichen Eises, welches aus reinem Wasser erzeugt ist, leuchtet ein.

Auch die häufig vorkommenden milden Winter bei uns breiten die Benutzung von Eismaschinen immer weiter aus, in wärmeren Ländern sind sie ganz unentbehrlich.

Ueber die Art der Anwendung der Kälteerzeugungs-Maschinen in Fabriken etc. wird man in dem Buche das Nöthige finden.

Da eine Zusammenstellung verschiedener Kälteerzeugungs-Maschinen, deren Anlagen und deren Benutzung, in einem Buche bis jetzt kaum existirt, so habe ich mich dieser Arbeit unterzogen, soweit mir das Material zugänglich gewesen ist.

Im Uebrigen verweise ich auf die nachstehende Einleitung und bitte die Leser bei sich etwa zeigenden Mängeln und Lücken freundlichst berücksichtigen zu wollen, mit welchen Schwierigkeiten das Sammeln von Material verbunden ist, wenn man der Neuheit des Stoffes wegen auf andere Bücher und Schriften wenig fassen kann.

Hamburg, April 1883.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Als ich die erste Auflage dieses Buches schrieb, kam es mir hauptsächlich darauf an, mitten in dem praktischen Leben stehenden Männern die Wichtigkeit der Eismaschinen überhaupt und die Konstruktion, Preis und Rentabilität und dergleichen der hauptsächlichsten dieser Maschinen vor Augen zu führen. Ich wollte mithelfen Interesse dafür zu erwecken und das Verständniss zu fördern. Nachdem in der Zwischenzeit die Anwendung der Kältemaschinen, unterstützt durch mehrere ganz ausserordentlichen Umfang angenommen hat, 1

immer mehr und mehr sich beschäftigen mit den Unterschieden sowohl wie mit den Vortheilen und Nachtheilen der verschiedenen Systeme und Konstruktionen, habe ich mich veranlasst gesehen, den Plan des Buches wesentlich weiter zu fassen, wonn ich auch noch immer von tiefen wissenschaftlichen Erörterungen abgesehen habe. Wer Interesse dafür hat, wird das Wenige, das über Eismaschinen nach dieser Richtung veröffentlicht ist, hauptsächlich in Zeuner'schen Aufsätzen im „Civil-Ingenieur“ und in Linde'schen Aufsätzen im „Bayrischen Industrie- und Gewerbeblatt“ finden.

Das Buch ist auch bis heute noch das einzige selbständige auf diesem Gebiete geblieben und wünsche ich mit dieser zweiten Ausgabe der Erkenntniss des Gegenstandes einen Dienst geleistet zu haben.

Was den Streit mit den Freunden der neuen Pictet'schen Flüssigkeit über deren Vorzüge anbetrifft, so glaube ich den Gegenstand so weit besprochen zu haben, wie es in solchem Werke, das sich vorzugsweise mit erlangten Resultaten beschäftigen soll, und bei der noch immer vorhandenen Unklarheit darüber, zulässig ist. Dass ein eigener Standpunkt dabei nicht unterdrückt worden ist, war nicht zu vermeiden.

Hamburg, Februar 1888.

Der Verfasser.

Vorwort zur dritten Auflage.

Ich habe dem früheren Vorwort nicht viel hinzuzufügen. Den bedeutenden Fortschritten entsprechend ist das Buch erweitert worden, der wissenschaftlichen Behandlung ein etwas weiterer Spielraum gewährt. Leser, welche in der Thermodynamik bewandert sind, werden diesen Theil

des Buches ohne Weiteres verstehen und für die Zusammenstellung der Schlussfolgerungen und der Versuche an Maschinen grösseres Interesse finden. Lesern aber, die nicht mathematisch durchgebildet sind und die Thermodynamik nicht kennen, die zu Grunde liegenden Theorien deutlich zu machen, ist kaum möglich. Es ist daher Bezug genommen auf betreffende Lehrbücher, und in diesem Theile eine gewisse Vorkenntniss vorausgesetzt.

Im Ganzen hat nach wie vor die Absicht vorgelegen, das Buch für Leute herzurichten, welche im praktischen Leben stehen.

In allerjüngster Zeit ist es mir getadelt worden, dass ich in der früheren Auflage die Kälteleistung in Verbindung gebracht habe mit Kohlenverbrauch. Ich bin indessen, natürlich nur nebensächlich, bei einem solchen Vergleich auch in der neuen Auflage stehen geblieben, und habe an der betreffenden Stelle mich bereits über die Gründe ausgesprochen. Wenn es auch wahr ist, dass man nur zwischen Kältemaschinen, die unter genau gleichen Verhältnissen arbeiten, genaue Vergleiche bezüglich des Wärmeeaufwandes ziehen kann, so lässt sich doch recht wohl ein allgemeines Bild über die Wirksamkeit der verschiedenen Maschinen geben. Wenn bei den Versuchsreihen, die existieren, gewöhnlich auf gebrauchte Dampfmenge, resp. Kälteleistung pro Kilogramm Speisewasser Bezug genommen wird, obwohl der Wärmeeaufwand in Wärme-Einheiten dadurch nicht genau präzisirt ist, so ist es auch erlaubt unter ganz bestimmten Voraussetzungen über Verdampfungsfähigkeit und Verbrennungswärme der Kohle auf diese sich zu beziehen. Ein Praktiker wird es leichter verstehen, wenn man, um ihm ein allgemeines Bild zu geben, sich bezieht auf Kohlenverbrauch, als auf Wärmeinheiten-Verbrauch. Sind doch auch die Kostentabellen der verschiedenen Fabriken mit Angaben über Kohlenverbrauch versehen, auf Grund deren die Kostenkalkulationen gemacht werden. In einem nicht streng wissenschaftlichen Buche dürfte es wohl erlaubt sein, neben genaueren Angaben und Vergleichen, auch gelegentlich dies Verhältniss trotz der Ungenauigkeit einzuführen, umsomehr als der Vergleich mit Maschinen anderer Systeme, als Kompressionsmaschinen, sich deutlicher ausdrückt.

Die frühere Auflage hat ein so grosses Interesse gefunden, und es sind mir darüber so vielerlei Anerkennungen aus den verschiedensten Kreisen Deutschlands und Amerikas zugegangen, dass ich mich der Hoffnung hingebe, dass auch diese erweiterte neue Auflage ihren Zweck erfüllen möge.

Hamburg, April 1894.

Der Verfasser.

Vorwort zur vierten Auflage.

Nachdem die frühere Auflage des Buches vergriffen war, habe ich mit dem Herrn Verleger zu berathen gehabt, ob es am Platze sein wird zur Herausgabe einer neuen Auflage zu schreiten.

Die Branche der Kälteerzeugung hat sich mehr und mehr ausgedehnt, und der Umfang des Buches musste daher bedeutend zunehmen. Für den Herrn Verleger war es erwünscht darin nicht weiter zu gehen, als unbedingt nöthig ist, um den Absatz des Buches nicht durch hohen Preis zu erschweren. Der Verfasser wollte den ganzen Zweig der Kälteerzeugung nach wie vor behandeln, und dabei dieselben Grundsätze walten lassen, wie bei den früheren Auflagen. Das Thema ist aber so ausserordentlich angewachsen, dass es nothwendig war sich zu beschränken. Es ist so vielseitig geworden, dass die Besorgniss lebhaft bei ihm aufgetreten ist, ob er überhaupt im Stande und befähigt sein würde den berechtigten Ansprüchen noch zu genügen.

Die Thatsache freilich, dass das Buch noch immer das einzige geblieben ist, das den ganzen Gegenstand der Kälteerzeugung behandelt, und die vielen Anerkennungen, die der Verfasser erfahren hat, haben ihn bestimmt sich der Mühe zu unterziehen, die neue Auflage zu bearbeiten. Er bittet um nachsichtige Beurtheilung.

Der Uebersichtlichkeit wegen, die bei dem grossen Umfange und dem Ineinandergreifen verschiedener Systeme der Kälteerzeugung schwer

aufrecht zu erhalten ist, sind am Rande der Seiten Bemerkungen über den Inhalt angebracht, und ein alphabetisch geordnetes Inhaltsverzeichnis angefügt worden.

In der Abtheilung über die Kühlanlagen sind nur solche besprochen, welche durch Maschinen gekühlt werden. Anlagen, welche durch Natur-eis gekühlt werden, sind in einem kleinen Werkchen besprochen und dargestellt worden, welches unter dem Titel „Eiskellerbau“ bei demselben Herrn Verleger erschienen ist, und als Anhang dieses Buches betrachtet werden kann.

Um Mittheilungen von Mängeln oder Fehlern, um sie bei einer etwaigen späteren Auflage benutzen zu können, bittet

Hamburg, April 1900.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichniss.

	Seite
Allgemeines	1
Carnot'scher Kreisprozess	3
Wirkungsgrad der Kompressionsmaschine	3
" " Luftmaschine	4
" " Absorptionsmaschine	4
Polytropischer Kreisprozess	5
Physikalische Wege zur Kälteerzeugung	5
Kältemischungen nebst Tabelle	6
W. Siemens Maschine	7
Toselli's Maschine	8
C. Rossi's Apparat	9
Verdampfungsmaschine	9
Spannung von trocken gesättigten Ammoniakdämpfen, Tabelle	10
Salzgehalt und Gefrierpunkte von Kochsalzlösungen, Tabelle	11
" " " " Chlorcalciumlösungen, Tabelle	11
Leslie's Maschine	12
Perkin's Maschine	12
Harrison's Maschine	12
Siebe, Gorman & Co.'s Aethermaschine	12
Spannung der Medien bei Kompressionsmaschinen	13
Spec. Gewicht, Siedepunkt, latente Wärme, Spannungen verschiedener Dämpfe, Tabelle	15
Spec. Gewicht, Dichtigkeit, Wärmeeinheiten u. s. w., Tabelle	16
Carré's Maschine	17
Linde's Maschine	17
Osenbrück's Maschine	18
Spannungskurven	18
Dr. Raydt's Maschine	18
Windhausen's Maschine	18
Pictet's Maschine	19
Pictet's Flüssigkeit	19
Tellier's Maschine	19

	Seite
Aethermaschinen	19
Ammoniakmaschinen	19
Vacuummaschine	20
Leslie's Vacuummaschine	20
Carré's Vacuummaschine	20
Duvallon & Csote's Vacuummaschine	20
Fleuss's Vacuummaschine	21
Windhausen's Vacuummaschine	22
Harrison's Vacuumapparat	25
Galland's Vacuummaschine	26
Carré's Absorptionsmaschine	26
Reece's Absorptionsmaschine	26
Pontifex & Wood's Absorptionsmaschine	26
Mort & Nicolle's kombinierte Verdampfungsmaschine	27
Osenbrück's	28
Habermann's Absorptionsmaschine	28
De Motay & Rossi's Flüssigkeitsmischung	28
Pictet's Flüssigkeit	28
Luftexpansionsmaschinen	28
Dr. Gorrie's Luftmaschine	29
W. Siemen's	29
Kirk's	29
Giffard's	29
Behrend's	29
Windhausen's	29
Lightfoot's	29
Specifische Wärme verschiedener Körper, Tabelle	30
Erklärung der Luftmaschine	31
Beziehung zwischen Volumen, Temperatur und Druck der Luft, Tabelle	32
Carnot's Kreisprozess	33
Verhältniss zwischen Temperatur und Sättigungszustand der Luft, Tabelle	37
Arbeitsweise der Luftmaschine	39
Leistung der Luftmaschinen	43
Systematischer Unterschied der Verdampfungsmaschinen	43
Kreisprozess der Kompressionsmaschinen	44
Kreisprozess der Absorptionsmaschinen	44
Kombinierte Verdampfungsmaschinen	47
Motay & Rossi's kombinierte Verdampfungsmaschinen	48
Pictet's Flüssigkeit	48
Vacuummaschinen	48
Theorie der Verdampfungsmaschinen	49
Bolani's Theorie der Verdampfungsmaschinen	50
Versuche über Absorptionswärme von Dr. Zimmermann	52
Lorenz's Theorie der Absorptionsmaschine	53
Absorptionswärme von Ammoniak, Tabelle	55
Sättigungsgrade	55
Diverse Werthe für verschiedene Sättigungsgrade von Ammoniak, Tabelle	57
Temperaturen für verschiedene Spannungen bei diversen Sättigungsgraden, Tabelle	57

Inhalts-Verzeichniss.

	Seite
Allgemeines	1
Carnot'scher Kreisprozess	3
Wirkungsgrad der Kompressionsmaschine	3
" " Luftmaschine	4
" " Absorptionsmaschine	4
Polytropischer Kreisprozess	5
Physikalische Wege zur Kälteerzeugung	5
Kältemischungen nebst Tabelle	6
W. Siemens Maschine	7
Toselli's Maschine	8
C. Rossi's Apparat	9
Verdampfungsmaschine	9
Spannung von trocken gesättigten Ammoniakdämpfen, Tabelle	10
Salzgehalt und Gefrierpunkte von Kochsalzlösungen, Tabelle	11
" " " " Chlorcalciumlösungen, Tabelle	11
Leslie's Maschine	12
Perkin's Maschine	12
Harrison's Maschine	12
Siebe, Gorman & Co.'s Aethermaschine	12
Spannung der Medien bei Kompressionsmaschinen	13
Spec. Gewicht, Siedepunkt, latente Wärme, Spannungen verschiedener Dämpfe, Tabelle	15
Spec. Gewicht, Dichtigkeit, Wärmeeinheiten u. s. w., Tabelle	16
Carré's Maschine	17
Linde's Maschine	17
Osenbrück's Maschine	18
Spannungskurven	18
Dr. Raydt's Maschine	18
Windhausen's Maschine	18
Pictet's Maschine	19
Pictet's Flüssigkeit	19
Tellier's Maschine	19

	Seite
Vortheilhafteste Bedingungen im Betriebe von Kompressions- maschinen	94
Einfluss der Temperaturen bei Kompressionsmaschinen	96
Erzeugte Kälte pro Kubikmeter bei $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$, Tabelle	97
Indicirte Arbeit " " " " " , Tabelle	97
Einfluss der schädlichen Räume bei Kompressionsmaschinen	98
Volumenänderung im Kondensator und Verdampfer, Tabelle	100
Reibungen und passive Widerstände bei Kompressions- maschinen	101
Füllungsverluste bei Kompressionsmaschinen	104
Grössenberechnung des Kompressors	109
Werthe für gesättigte Dämpfe von Ammoniak nach Zeuner, Tabelle	110
" " " " " Schwefliger Säure nach Zeuner, Tabelle	111
" " " " " Kohlensäure nach Zeuner, Tabelle	112
" " " " " Ammoniak nach Mollier, Tabelle	114
Werthe für diverse gesättigte Dämpfe nach Zeuner, Tabelle	116
Verluste bei Kohlensäure-Kompressionsmaschinen	116
" " verschiedenen Dämpfen	117
Konstruktion der Kälteerzeugungsmaschinen	118
Verdampfungsmaschinen mit Absorptionsapparat	118
Ammoniak-Verdampfungsmaschinen von Vaass & Littmann	118
Transportable Absorptionsmaschine	120
Ammoniak-Destillator	121
Kropff'sche Absorptionsmaschine	123
Kleine intermittirende Absorptionsmaschine	128
Kleine Absorptionsmaschine von Mosler	134
Habermann's Absorptionsmaschine	135
Sülzer-Vogt's Absorptionsmaschine	139
Stockmann's Absorptionsapparat	140
Vacuummaschine des Internationalen Vacuum-Eismaschinen-Vereins	142
Galland's Vacuummaschine	145
Pattens's Vacuumapparat	150
Welz's Absorptionsapparat	151
Kux's "	151
Egell's "	152
Schwefelsäure-Konzentrationsapparat	152
Condict & Rose's Vacuumapparat	153
Nehrlich's Vacuumapparat	153
Tessié du Motay & Rossi's Mischung	153
Rossi & Beckwith's Druckverminderung	155
Csété's Vacuummaschine	156
Patten's Vacuumpumpe	156
Hardy's "	157
Beetz's Absorptionsmaschine	157
Osenbrück's kombinirte Maschine	158
Werthe an einer Osenbrück'schen kombinirten Ammoniak-Verdampfungs- maschine, Tabelle	159

	Seite
Verdampfungsmaschinen mit Kompressionspumpe	160
Linde's Kompressionsmaschine	160
" Stopfbüchse	164
Osenbrück's Kompressionsmaschine	173
" Stopfbüchse	175
Diverse Stopfbüchsen	176
Neubecker's Maschine	179
Transportable Kompressionsmaschine	181
Nürnberger Kompressionsmaschinen	182
Seyboth's Kompressionsmaschine	183
Berieselungskondensator	184
Berieselungs-Verdampfer	186
Linde's Apparat für destillirtes Wasser zu Klareis	186
Linde's Kompressor	189
Linde's Schiffskühlmaschinen	191
Kilbourn's Ammoniak-Kompressionsmaschine	194
De la Vergne's Ammoniak-Kompressionsmaschine	196
Boyle's Kompressionsmaschine	202
Hercules-Ammoniak-Kompressionsmaschine	204
Fixary's Ammoniak-Kompressionsmaschine	207
Hartung & Wepner's Ammoniak-Kompressionsmaschine	208
Sedlacek's Expansionscylinder	209
Nehrlich's Kompressionsmaschine	210
Oelabscheider der Maschinenfabrik Germania	211
Schmierung mit konsistentem Fett	212
Stopfbüchse mit Ringraum für circulirendes Oel	212
Disposition von Compound-Kompressoren	212
Pflockhahn	213
Rückschlagventil	213
Amerikanische Rohrverbindung	214
Seyboth's Oelabscheider	214
Seyboth's Ventile	215
Gebhardt & König's Druckausgleichventile	216
Tauchkondensator	216
Leistung von Kondensatoren	218
Wasser-Rückkühler von Rohleder in Barmen	219
Resultate eines Rückkühlers von Rohleder, Tabelle	219
Wasser-Rückkühler von Klein, Schanzlin & Becker	219
Berieselungs-Kondensator der Maschinenfabrik Augsburg	221
Leistung von Berieselungs-Kondensatoren	222
Linde's Scheibenapparat für Luftkühlung	222
Luftkühlapparat mit rollenden Cylindern	223
Fixary's Luftkühlapparat	224
Armaturen an Ammoniakmaschinen von Dreyer, Rosenkranz & Droop	225
Weisser's Reinigungsapparate für Verdampferspiralen	225
Vertikale Kompressoren der Frick-Company	227
Rohrverbindungen der Frick-Company	227
Kompressoren der Vulcan Iron Works	227
Rohrverbindungen und Berieselungs-Kondensator der Vulcan Iron Works	229
Rohrverbindungen der Fred. W. Wolf Company	230

	Seite
Schwefelkohlenstoffmaschine von Windhausen	273
Kompressionsmaschine ohne Kompressor	274
Krauschitz's Vacuummaschinen	274
Behrend's Kompressionsmaschine ohne Wasserdampfmaschine	278
Müller's Eisschrank	285
Ueber Betrieb und Behandlung der Verdampfungsmaschinen mit Kom-	
pressionspumpe	286
Füllung der Maschine	286
Flüssigkeitsballons	286
Destillation aus Salmiakgeist	286
Beaumé'sche Aräometergrade und spezifische Gewichte, Tabellen	287
Spezifische Gewichte und Procentgehalt von Ammoniaklösungen, Tabelle	289
Ammoniakmengen in 100 Liter Salmiakgeist, Tabelle	290
Schmieröl	291
Rektifikation des Schmieröls	292
Regulirventil	292
Ammoniakbomben	292
Reinigung des Verdampfers	293
Luft in den Spiralen	293
Verstopfung von Röhren	294
Kühlwasser	294
Gradirwerke	294
Undichtigkeit	295
Respirationsapparat	295
Osenbrück's Luftkühlapparat	298
Befestigung von Salzwassersystemen	299
Anzahl und Oberfläche der Salzwassersysteme	299
Art des Salzes zur Füllung der Rohrsysteme	301
Rotationspumpe von Beck & Rosenbaum	302
Drehkolbenpumpe von Maschinenfabrik Augsburg	303
Lehmann'sche Rotationspumpe von Wilhelmshütte	303
Una-Kolbenpumpe von Klein, Schanzlin & Becker	306
Eislaufkrah von Maschinenfabrik Augsburg	308
Auffangapparat des Salzwassers von A. Freundlich	308
Luftexpansionsmaschinen	309
Behrend's Luftexpansionsmaschine	309
Kirk's Luftexpansionsmaschine	317
Windhausen's Luftexpansionsmaschine	317
Luftkühlung mittels einer Luftexpansionsmaschine, Tabelle	325
Versuche mit Luftexpansionsmaschinen	325
Lightfoot's Luftexpansionsmaschinen	328
Giffard's " " " "	332
Verwendung der Kälteerzeugungsmaschinen nebst Anschaffungs- und	
Produktionskosten	333
Angaben über Absorptionsmaschinen von Vaass & Littmann, Tabelle	333
Anwendung der Kompressionsmaschinen von Linde	334
Leistungen und Preise der Kompressionsmaschinen von Linde, Tabelle	337
" " " " Eismaschinen von Linde, Tabelle	339
Wasser-Destillationsapparate für Klareis von Linde	339

	Seite
Angaben über Kompressionsmaschinen von Lightfoot, Tabelle	341
" " " " De la Vergne, Tabelle	341
" " " " Pictet, Tabelle	341
" " Kohlensäuremaschinen von L. A. Riedinger, Tabellen	342
" " Mosler's Absorptionsmaschine, Tabelle	344
" " Lange's Vacuummaschinen, Tabelle	344
Grösse des Arbeitsraumes der verschiedenen Kompressionsmaschinen, Tabelle	346
Anwendung von Kältemaschinen aller Art	346
Schröter's Versuche im Polytechnischen Verein in München, Tabelle	348
Leistung einer Pictet-Maschine	354
Vortrag von Linde über Leistung der verschiedenen Kompressionsmaschinen	356
Resultate von Ammoniak-Kompressionsmaschinen, Tabelle	360
Wirkliche Leistung einer Ammoniak-Kompressionsmaschine, Tabelle	361
" " " Ammoniak-Absorptionsmaschine, Tabelle	361
" " " Kompressionsmaschine, Tabelle	362
Vergleich der Leistung verschiedener Maschinen, Tabelle	363
Wirkliche Leistung von Ammoniak-Kompressionsmaschinen, Tabelle	373
Leistungsfähigkeit von Kohlensäuremaschinen	374
Wehage's Besprechung der Schröter'schen Versuche	377
Schröter's zweiter Versuch an Kompressionsmaschinen	380
Versuchsergebnisse einer Linde'schen Ammoniakmaschine, Tabelle	381
" " Pictet'schen Schwefligsäure-Maschine, Tabelle	381
Leistungsversuch einer Ammoniak-Kompressionsmaschine	382
Vergleichsrechnung zwischen NH ₃ , SO ₂ und CO ₂ -Maschinen, Tabelle	383
Leistung einer Kohlensäuremaschine nach Linde, Tabelle	384
" " Ammoniakmaschine " " , Tabelle	385
Spannungen und Spec. Gewicht von Methyläther und Chlormethyl, Tabelle	385
Kritischer Punkt	386
Grösse von Kondensatoren und Verdampfern	386
Fleischkühlanlagen	386
Sättigungszustand der Luft, Tabelle	388
Wärmedurchlässigkeit	389
Brauereikühlanlagen	389
Süsswasserkühler	390
Eiserzeugung	390
Eisbahnen	390
Füllungsmenge bei Kompressionsmaschinen	391
Ausgeführte Anlagen	391
1. Kälteerzeugungsanlage der Brauerei von Gebr. Dietrich in Düsseldorf	392
2. Anlage von Gabriel Sedlmayr zum Spaten in München	396
3. Kälteerzeugungsanlage in der Brauerei von A. Dreher in Triest	403
4. Kälteerzeugungsanlage in der Westminster Brewery in London	408
5. " " von Josef Sedlmayr, Brauerei zum Leist in München	410
Apparate für Krystalleis	413
6. Anlage in der Aktienbrauerei St. Pauli in Hamburg	417
7. Kellerkühlung von der Halleschen Maschinenfabrik vorm. Vaass & Littmann	419

Inhalts-Verzeichniss.

XVII

	Seite
8. Kellerkühlanlage von Oskar Kropff in Nordhausen	422
9. Vacuum-Eismaschine des Internationalen Vacuum-Eismaschinen-Vereins in Berlin	422
10. Anlage der Maschinenfabrik Germania in der Brauerei Phönix in Dortmund	427
11. Kühlanlage der De la Vergne Refrigerating-Machine-Company in New-York	432
12. Kühlanlage der Barmbecker Brauerei Act.-Ges. in Hamburg	437
13. Kühlanlage mit einer mit Pictet-Flüssigkeit arbeitenden Kompressionsmaschine	441
14. Kühlanlage mit Windhausen'scher Kohlensäuremaschine bei Mielke in Charlottenburg	445
15. Krystalleis-Maschinenanlage in Montreux von Escher, Wyss & Co. in Zürich	451
16. Schwefligsäure - Kältemaschinenanlage der Berliner Bockbrauerei von Schüchtermann & Kremer	455
17. Hopfenkühlraum von Pontifex & sons mit Farrington's Ammoniak-Kompressionsmaschine	463
Raumisolirung und Isolirmaterialien	464
Isolirung von Seyboth	467
Schiffskühlanlage von Linde	467
Isolirungen von Grünzweig & Hartmann	468
18. Kleine Kühlanlage der Linde British-Refrigeration Co. in London	469
19. Eisfabrikation in Nordamerika	469
20. Kohlensäure-, Eis- und Kühlmaschinenanlage der Brasserie de Sochaux von Escher, Wyss & Co.	471
Kühlung in Schlachthäusern	476
21. Kühleinrichtung des Schlachthofes und Viehmarktes zu Bremen von Osenbrück & Co.	483
22. Kühlanlage in der städtischen Grossmarkthalle in Wien von L. A. Riedinger in Augsburg	489
23. Kühlanlage im Schlachthof zu Wiesbaden mit Linde'scher Maschine	501
24. Fleischkühlanlage von Maschinenbauanstalt „Humboldt“ in Kalk	505
Humboldt'scher Luftkühlapparat	506
Luftkühlapparate und deren Wirkungsweise	529
25. Schlachthof zu Magdeburg von der Gesellschaft Linde	537
Kühlung eines Schiffsladeraums mit Bell-Coleman'scher Luftmaschine	538
Schiffskühlung mit Linde'scher Maschine	542
26. Kleine Gefrier- und Kühlanstalt für amerikanisches gefrorenes Fleisch	544
Wandisolirung	544
27. Amerikanische Schlächtereien	544
Kühlung in Privatschlächtereien von Vaass & Littmann	546
Chokoladen-Kühlraum von Pictet	550
Künstliche Sommereisbahn	550
Kältetemperaturen in verschiedenen Industrien	551

	Seite
Kühlung von Wohngebäuden oder Schulen	553
„ „ „ und Wasserkühlung in Amerika	557
Reinigung der Luft von Pilzkeimen in Schlachthäusern von „Humboldt“ in Kalk	558
Gefrieren beim Tunnelbau von Lindmark	559
Erzeugung sehr niedriger Temperaturen	561
Verdichtung und Verflüssigung von Gasen, deren Verwendung u. s. w.	563
Kritischer Punkt u. s. w.	568
Linde's Verflüssigung der Luft	577
Pictet's Herstellung chemisch reiner Substanzen mittels Kälte	581
Verflüssigung und Erstarren von Wasserstoff von Dewar	582
Aenderung der specifischen Wärme von Metallen bei niedrigen Temperaturen	583
Alphabetisch geordnetes Inhalts-Verzeichniss	585
Tabellen	593

Allgemeines.

Das Bestreben, Kälte oder niedere Temperaturen überhaupt auf mechanischem Wege zu erzeugen, wurde zunächst durch Eismangel hervorgerufen, welcher, durch herrschende Witterungs- und Ortsverhältnisse bedingt, hemmend in gewisse gewerbliche Fabrikationen eingriff. Dieses Bestreben zielte darauf hin, anschliessend an die durch Verwendung von Natureis entstandene Gewohnheit, zuerst künstliches Roheis zu erzeugen, um durch dessen Vermittelung die in den Räumen oder zu dem Gewerbe erforderliche niedrige Temperatur zu erlangen. Da indessen das künstliche Roheis erst ein Produkt der durch die betreffenden Maschinen hervorgebrachten Kälte ist, d. h. also erst sekundär wirkt, so wurden die Maschinen auch sehr häufig zur direkten Kühlung verwendet, ohne zuvor Eis herzustellen.

Der Erfindungsgeist der Menschen hat mit Benutzung der physikalischen Wissenschaften in den letzten Jahrzehnten sehr Bedeutendes in der mechanischen Kälteerzeugung geleistet, und zwar geben milde Winter stets von Neuem einen Anstoss zu forcirter Thätigkeit auf diesem Gebiete. Immer mehr wird das Eis zu einem unentbehrlichen Ingredienz für das tägliche Leben, für unser Wohlleben, für sanitäre Zwecke, für die verschiedensten Gewerbe, so dass man schon jetzt, selbst in unseren Klimaten, sich ungern auf den Winter verlässt, vielmehr Eisfabriken in steigender Zahl erbaut. Die Reinheit des künstlichen Roheises gegenüber dem Natureis schafft ihm viele Freunde, um so mehr, als man es ohne Widerwillen zu empfinden, wie es bei Natureis gar zu häufig vorkommt, direkt in die Getränke thun kann.

Nachdem die bakteriologischen Wissenschaften so sehr grosse Fortschritte gemacht haben, und festgestellt worden ist, dass unendliche Massen von Krankheitskeimen in den fliessenden und stehenden Gewässern eingeschlossen sind, und dass der Ursprung und die Verbreitung von Epidemien gerade in dieser Art von Gewässern zu suchen sind, ist man auch klar darüber geworden, dass es sehr bedenklich ist das Eis aus Flüssen, Bächen und Teichen direkt mit Speisen in Berührung zu bringen. Es gehören ganz ausserordentlich niedrige Kältegrade dazu, um die in diesen Ge-

wässern enthaltenen Bakterien und Bazillen zu tödten, so dass also die Verbreitung von Krankheiten durch Natureis nicht ausgeschlossen ist. Dagegen ist man durch Verwendung von Kunsteis aus keimfreiem Brunnenwasser oder aus destillirtem oder gekochtem Wasser gegen solche Kalamitäten geschützt und kann dasselbe getrost mit Speisen in Berührung bringen.

Es sind gegenwärtig eine ansehnliche Reihe Maschinen der verschiedensten Systeme konstruirt und in Betrieb, und es werden an dieselben hohe Anforderungen gestellt. Nachdem man eine klare Uebersicht über das Wesen und die Bedeutung der Kälteerzeugungs-Maschinen gewonnen hat, verlangt man von ihnen, dass der zur Inbetriebsetzung erforderliche Kostenaufwand sich mit dem erzielten Wirkungsgrad in ein gutes Verhältniss stelle, und dieses Verhältniss sich dem theoretisch günstigsten möglichst annähere.

In dieser Hinsicht werden dann natürlich unaufhörlich Verbesserungen ersonnen, und es werden noch mancherlei geistreiche Gedanken und Konstruktionen zur Ausführung gebracht werden, obwohl bereits eine grosse Vollkommenheit der Maschinen erreicht ist. Man ist aber jetzt schon im Stande mit Vortheil die Benutzung von Natureis zu umgehen, wenigstens für gewerbliche Zwecke, wodurch auf deren Anlagen selbst ein bestimmender Einfluss ausgeübt wird.

Diese Arbeit hat den Zweck, den Stand des Zweiges der Kälteerzeugung, in dem er sich heute befindet, zusammenzufassen, und sich in weitgehende theoretische Erörterungen nicht weiter einzulassen, als zum Verständniss des Gegenstandes nothwendig erscheint.

Die mechanische Kälteerzeugung wird dadurch hervorgebracht, dass, nachdem man irgend einem Körper in verdichtetem Zustande bei hohen Temperaturen Wärme entzogen hat, man ihm solche bei Zurückführung in seinen früheren natürlichen Zustand wieder zuführt, und zwar aus demjenigen Körper, z. B. dem zu gefrierenden Wasser, dem die Wärme bis zu entsprechenden Kältegraden entzogen werden soll.

Dieser Vorgang wird hervorgerufen entweder durch Wärme oder durch mechanische Arbeit, so dass die erzeugte Kälte in einem gewissen Verhältniss zu der aufgewendeten Wärme oder der mechanischen Arbeit steht. In derselben Weise, wie sich bei Arbeitsleistung von andern Maschinen der Wirkungsgrad der zugeführten Wärme oder der aufgewendeten Arbeit berechnen lässt, in derselben Weise lässt sich bei Kälteerzeugungs-Maschinen derselbe bestimmen. Man kann daher diejenige Leistung in Kälteerzeugung genau berechnen, welche theoretisch unter Vernachlässigung aller Verluste mit einer gewissen Menge Wärme oder mechanischer Arbeit hervorgebracht werden kann. Daraus ergibt sich dann der Wirkungsgrad der gerade vorliegenden Maschine.

Ein solcher Minimalwerth lässt sich leicht feststellen, der schliesslich bei allen Maschinensystemen Geltung hat, wenn er zurückgeführt wird auf Wärmeeinheiten, die der Maschine zugeführt werden müssen; denn auch in denjenigen Maschinen, in welchen lediglich mechanische Arbeit zur Kälteerzeugung benutzt wird, wird diese schliesslich durch Zuführung von Wärme erzeugt. Denken wir uns, wir wollten Wasser von $+12^{\circ}\text{C}$. in Eis von -3°C . verwandeln, so wäre dazu eine Wärmeentziehung von 15° erforderlich oder 15 W. E. pro Kilogramm Wasser. Da aber die spezifische Wärme des Eises gleich 0,5 ist, so sind zur Abkühlung des Eises von 0° bis -3°C . nur 1,5 W. E., im Ganzen also $12 + 1,5 = 13,5$ W. E. nöthig. Da ferner dem Wasser beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand noch ca. 79 W. E. entzogen werden müssen, die im Wasser gebunden sind und beim Uebergange frei werden, so gebraucht 1 kg Wasser von 12°C . bei Verwandlung in Eis von -3°C . ca. 92,5 W. E.

Nun ist es bekannt, dass den Wärmemaschinen der Carnot'sche Kreisprozess zu Grunde zu legen ist, für welchen die Formel gilt

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{T}{T_1}, \text{ d. h. es verhalten sich die Wärmemengen zu Anfang und zu Ende}$$

des Processes wie die absoluten Temperaturen. Bei fast allen Kältemaschinen-Systemen ist unter Q diejenige Wärmemenge zu verstehen, welche durch das Kühlwasser dem Kälte erzeugenden Medium entzogen wird, und Q_1 ist diejenige Wärmemenge, welche behufs Kälteproduktion dem Medium zugeführt wird. Da sich beide wie die betreffenden absoluten Temperaturen verhalten (die am Ende des Processes kleiner ist, als am Anfange), so ist klar, dass zur Herstellung einer Wärmebilanz im Kreisprozesse noch die Differenz der Wärmemengen Q und Q_1 zugeführt werden muss. Diese Wärmemenge Q_2 ist $= Q - Q_1$, da aus der obigen Carnot'schen

Carnot'scher Kreisprozess

$$\text{Gleichung hervorgeht } Q = Q_1 \frac{T}{T_1}, \text{ so ist } Q_2 = Q_1 \frac{T}{T_1} - Q_1 = Q_1 \frac{T - T_1}{T_1}.$$

Es lässt sich also diejenige theoretische Wärmemenge bestimmen, welche für die Kältemaschinen für eine bestimmte Kälteleistung erforderlich ist, wenn die Anfangs- und Endtemperaturen bekannt sind.

Für 1 kg Eis = 92,5 W. E. ist z. B. bei Kompressions-Kältemaschinen nach der Carnot'schen Formel, da sie etwa mit $+20^{\circ}\text{C}$. Anfangs- und -10°C . Endtemperatur arbeiten, die Wärmezuführung von

$$92,5 \frac{30}{273 - 10} = 0,114 \cdot 92,5 = 10,545 \text{ W. E. erforderlich. Da diese Wärme-}$$

menge aber in Form von mechanischer Arbeit zugeführt wird, wobei eine Wärmeeinheit 424 Meterkilogramm Arbeit leistet, so sind erforderlich für 1 kg Eis $10,545 \cdot 424 = 4471$ mkg, oder für Erzeugung von

Wirkung grad der Kompressor maschin

1 kg stündlich $\frac{4471}{270000} = 0,0165$ Pferdekkräfte. Mit einer Pferdekraft könnten hiernach erzeugt werden $\frac{1}{0,0165} = \sim 60$ kg Eis pro Stunde.

Diese Rechnung ist vorläufig ganz roh, und es können in Wirklichkeit nicht annähernd solche Erfolge erzielt werden, aber sie dient doch wenigstens zuerst für eine vorläufige rohe Anschauung der Sache.

Luftkompressionsmaschinen pflegen mit $\sim 180^\circ$ C. Anfangs- und -40° C. Endtemperatur zu arbeiten. Die Rechnung ergibt dann

Wirkungs-
grad der
Luft-
maschine. auf gleicher Grundlage $Q_2 = 92,5 \frac{220}{273-40} = 0,944 \cdot 92,5 = 86,3$ W. E.
oder $424 \cdot 86,3 = 36600$ mkg oder $\frac{36600}{270000} = 0,136$ Pferdekkräfte pro 1 kg Eis.

Mit einer Pferdekraft können dann pro Stunde $\frac{1}{0,136} = \sim 7,35$ kg Eis erzeugt werden. Daraus ist schon vorweg zu erkennen, wie ungünstig Luftkompressoren gegenüber den jetzt gebräuchlichen Kompressoren mit Kältdämpfen arbeiten.

Bei den Ammoniak-Absorptionsmaschinen hat man etwa mit den Grenzttemperaturen $+130^\circ$ C. und -10° C. zu rechnen. Daher berechnet sich $Q_2 = 92,5 \frac{140}{263} = 0,532 \times 92,5 = 49,21$ W. E. pro kg Eis.

Es sei hier nochmals ganz ausdrücklich hervorgehoben, dass diese Rechnung nur eine völlig oberflächliche sein soll. Jeder Ingenieur weiss, dass der Carnot'sche Prozess den alleräusserst möglichen Grenzwert bezeichnet, der in Wirklichkeit niemals, auch nicht annähernd erreicht werden kann. Später soll speciell darauf zurückgekommen werden. Hier sollte nur ein Verhältniss der Kälteleistung verschiedener Kältemaschinen zum Wärmeverbrauch in ähnlicher Weise unter bestimmten Annahmen berechnet werden, wie man bei Dampfmaschinen ein Verhältniss der Arbeitsleistung zum Wärmeverbrauch ganz allgemein feststellen kann. Die theoretisch vollkommene Kältemaschine geht aus von der ihr wirklich zugeführten Wärmemenge. Sie stellt $Q_2 = AL = Q_1 \frac{T-T_1}{T_1}$ bei der Kältemaschine ebenso fest, wie bei der Dampfmaschine $AL = Q_1 \frac{T-T_1}{T}$. Man erlangt also nach dieser Formel bei bestimmten Grenzttemperaturen und für eine bestimmte Kälteleistung Q_1 ein festes Resultat über den erforderlichen Wärmeaufwand oder die erforderliche Arbeit. So gebraucht eine Kompressionsmaschine, welche zwischen Grenzttemperaturen $+20^\circ$ C. und -10° C. z. B. **50000** W. E. an Abkühlung leisten soll, nach obiger Rech-

nung $AL = \frac{50000 \cdot 0,114 \cdot 424}{270000} = 8,95$ Pferdekräfte pro Stunde. Angenommen, dass zum Betriebe einer solchen Eismaschine eine besonders gute Dampfmaschine von 6,4 kg Dampfverbrauch, oder bei achtfacher Verdampfung der Kohle $\frac{6,4}{8} = 0,8$ kg Kohle pro Pferdekraft gebraucht werde, so sind für diese Maschine $8,95 \cdot 0,8 = 7,16$ kg Kohle zu rechnen. 50000 W. E. repräsentiren rund 500 kg Eis. Man wäre daher im Stande mit 1 kg Kohle $\frac{500}{7,16} = 69,8$ kg Eis zu produciren.

Unter besonders guten Verhältnissen ist es bereits gelungen mit 1 kg Kohle 35 bis 36 kg Eis herzustellen, d. h. etwa 50 Proc. der Kältemaschine-Leistung des Carnot'schen Kreisprozesses.

Die neuere wissenschaftliche Behandlung der Kältemaschinen geht aber nicht mehr von diesem Prozesse, sondern von dem polytropischen Prozesse aus, weil die Temperaturen durchaus in der Praxis keine festen Grenzen haben, sondern in den verschiedenen Apparaten der Maschine und den verschiedenen Stadien des Prozesses erheblich schwanken. Dies ist besonders von Prof. Lorenz bearbeitet worden, und es wird später Gelegenheit genommen werden wiederholt darauf zu verweisen.

Polytro-
pischer
Kreis-
prozess.

Physikalische Wege zur Kälteerzeugung.

Es ist oben gesagt, dass zur mechanischen Kälteerzeugung einem Körper bei verhältnissmässig hohen Temperaturen Wärme entzogen wird, die ihm dann zur Zurückführung in seinen früheren Zustand fehlt, und daher den ihn umgebenden Körpern behufs Kälteerzeugung entnommen wird.

Die Physik zeigt uns vorzugsweise zwei Wege, um einen Körper für diese Zwecke in geeigneten Zustand zu versetzen, die dann auch beide zur mechanischen Kälteerzeugung benutzt werden.

Der eine Weg beruht darauf, dass beim Uebergang eines Körpers aus einem der drei Aggregatzustände (fest, flüssig, gasförmig) in einen anderen ein gewisses Quantum Wärme, die sogenannte latente oder gebundene Wärme, frei oder gebunden wird. Hat man vorher z. B. einen Körper mittels der Maschine in einen flüssigen Zustand bei niederer Temperatur gebracht, der den Körper in die Lage bringt sofort aus dem dichteren in den weniger dichten Aggregatzustand überzugehen, so erfordert er zu dieser Umwandlung ein grosses Quantum latenter Wärme, die er dem ihn umgebenden Körper entzieht.

Es leuchtet ohne Weiteres ein, dass sich für diesen Zweck am besten der Uebergang aus dem tropfbar flüssigen in den gasförmigen Zustand

eignet. Dazu kommt, dass auch bei diesem Uebergange mehr Wärme gebunden wird, als bei dem Uebergange aus dem festen in den flüssigen Zustand.

Nichtsdestoweniger ist zuerst die beim Schmelzen, bei Aenderung des Aggregatzustandes aus fester in flüssige Form, gebundene Wärme zur Kälteerzeugung benutzt worden.

Wasser hat seinen Schmelzpunkt oder Gefrierpunkt, den Zustand der Erstarrung, bekanntlich bei 0° . Wirft man aber fein gepulvertes Salz in Wasser und rührt gut um, so sinkt die Temperatur der Lösung unter der Voraussetzung, dass sie gegen Wärmeaufnahme von aussen geschützt ist. — Beim Uebergange des Salzes aus dem festen in den flüssigen Zustand wird Wärme durch dasselbe gebunden, welche dem Wasser entzogen wird. Auf diese Weise sinkt die Temperatur der Lösung um so mehr, je stärker der Salzgehalt derselben ist, je gesättigter sie ist.

Kälte-
mischungen. Die starke Temperaturerniedrigung solcher Lösungen wird zu Kältemischungen benutzt, deren Gefrierpunkt je nach der Mischung mehr oder weniger unter 0° liegt.

Der Grund, weshalb der Gefrierpunkt tiefer liegt, scheint in der starken Tendenz zu liegen, mit welcher die Salze unter gewöhnlichen Umständen in die flüssige Form überzugehen streben, wodurch die Wärme schneller gebunden wird, als sie von aussen zugeführt werden kann. Die gebundene Wärme der schmelzenden Körper nimmt zu, während die messbare Wärme abnimmt, bis ein Gleichgewicht hergestellt ist zwischen der nöthigen Schmelzwärme und derjenigen Wärme, welche von aussen zugeführt wird. Je stärker die Lösung, desto niedriger liegt denn auch der Gefrierpunkt derselben. Der Grad der Temperaturerniedrigung hängt ab von der Wärmeabsorptionsfähigkeit des betreffenden Körpers bei der Aenderung seines Aggregatzustandes, und von der Geschwindigkeit, mit welcher dieser Wechsel stattfindet. Alle Kältemischungen resultiren in ihrer Wirkung von der mehr oder weniger schnellen Zustandsänderung.

Folgende Tabelle zeigt eine Anzahl Kältemischungen und die Temperaturerniedrigung, welche ihre Mischung hervorruft.

Kältemischungen.

Gewichtsvorhältniss:	Temperaturerniedrigung:
Salpetersaures Ammoniak 1 Theil	} von $+10^{\circ}$ bis $-15^{\circ} = 25^{\circ}$ C.
Wasser 1 "	
Salmiak 5 Theile	} von $+10^{\circ}$ bis $-12^{\circ} = 22^{\circ}$ C.
Salpeter 5 "	
Wasser 16 "	
Salmiak 5 Theile	} von $+10^{\circ}$ bis $-15^{\circ} = 25^{\circ}$ C.
Salpeter 5 "	
Glaubersalz 8 "	
Wasser 16 "	

Gewichtsverhältniss:	Temperaturerniedrigung:
Salpetersaures Natron 3 Theile	} von + 10° bis - 20° = 30° C.
Verdünnte Salpetersäure 2 "	
Salpetersaures Ammoniak 1 Theil	} von + 10° bis - 22° = 32° C.
Kohlensaures Natron 1 "	
Wasser 1 "	
Phosphorsaures Natron 9 Theile	} von + 10° bis - 25° = 35° C.
Verdünnte Salpetersäure 4 "	
Glaubersalz 8 Theile	} von + 10° bis - 18° = 28° C.
Salzsäure 9 "	
Schwefelsaures Natron 5 Theile	} von + 10° bis - 20° = 30° C.
Verdünnte Schwefelsäure 4 "	
Schwefelsaures Natron 6 Theile	
Salmiak 4 "	} von + 10° bis - 23° = 33° C.
Salpeter 2 "	
Verdünnte Salpetersäure 4 "	
Schwefelsaures Natrium 6 Theile	
Salpetersaures Ammoniak 5 "	} von + 10° bis - 40° = 50° C.
Verdünnte Salpetersäure 4 "	
Schnee oder gestossenes Eis 2 Theile	} bis - 20° C.
Kochsalz 1 "	
Schnee oder gestossenes Eis 5 Theile	} bis - 25° C.
Kochsalz 2 "	
Salmiak 1 "	
Schnee oder gestossenes Eis 24 Theile	} bis - 28° C.
Kochsalz 10 "	
Salmiak 5 "	
Salpeter 5 "	
Schnee oder gestossenes Eis 12 Theile	} bis - 32° C.
Kochsalz 5 "	
Salpetersaures Ammoniak 5 "	} bis - 30° C.
Schnee 3 Theile	
Verdünnte Schwefelsäure 2 "	
Schnee 8 Theile	} bis - 33° C.
Verdünnte Salzsäure 5 "	
Schnee 7 Theile	} bis - 35° C.
Verdünnte Salpetersäure 4 "	
Schnee 4 Theile	} bis - 40° C.
Chlorkalcium 5 "	
Schnee 2 Theile	} bis - 45° C.
Krystallisirtes Chlorkalcium 3 "	
Schnee 3 Theile	} bis - 46° C.
Pottasche 4 "	

Obwohl diese Kältemischungen vorzugsweise zu Zwecken des Laboratoriums dienen, so sind doch einige Maschinen oder Apparate zur Eis-erzeugung konstruirt worden, die sich darauf gründen. — William Siemens wendete Chlorkalcium an, dessen Temperaturerniedrigung bei Lösung in Wasser etwa 17° C. beträgt. Da aber diese Erniedrigung zur

W. Siemens
Maschine.

Eiserzeugung direkt nicht genügt, wenn die Anfangstemperatur 16 bis 17° ist, so wurde ein Apparat eingeschaltet, um mittels der Lösung das Wasser zu kühlen, bevor es mit dem Chlorkalcium gemischt wurde. Darauf liessen sich denn Temperaturen unter 0° erzielen. Das Salz wurde dann eingedampft und wieder benutzt.

Toselli's
Maschine.

Toselli benutzte in seiner Maschine salpetersaures Ammoniak und Wasser, wodurch eine Temperaturerniedrigung von 22° C. erlangt wird. Der Apparat besteht aus einem Gefäss, in welchem die Auflösung vorgenommen wird, und einem Eisbehälter mit kegelförmigen Mulden, die mit Wasser gefüllt und in die Kältemischung gehängt wurden. Die Wände wurden dann in wenigen Minuten von einer dünnen Eistrinde überzogen. Um grössere Eisstücke zu erhalten, setzte Toselli Mulden von verschiedener Grösse ein; die dann gewonnenen dünnen Eisringe wurden ineinander gesteckt und so dickere Eisstücke erzielt.

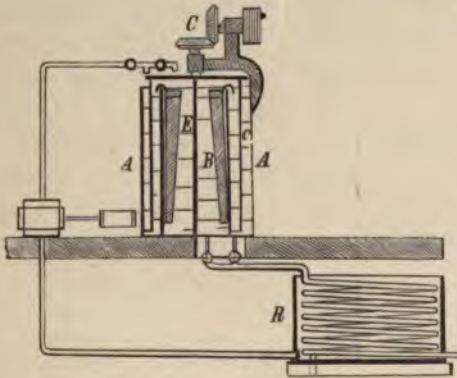


Fig. 1. D. R. - P. vom 10. Juni 1884.

In den Vereinigten Staaten Amerikas existirt eine solche Maschine, welche aus einer Anzahl ringförmiger Gefässe besteht, die concentrisch ineinander stecken. Das Eis wird in der innersten Mulde gebildet. Die Handhabung ist so, dass die Lösung von salpetersaurem Ammoniak in dem äussersten Gefässe das Wasser in dem zweiten kühlt. Wird

hier dann Salz zugethan, so kühlt die Lösung das nächste Gefäss und so weiter, so dass schliesslich eine sehr niedrige Temperatur erlangt werden kann. Eine Rührvorrichtung ist hierbei nothwendig, um die Auflösung des Salzes zu beschleunigen.

Eine andere Anwendung ist folgende: In der oben bei dem Siemens'schen Apparat beschriebenen Weise wird Wasser durch eine Kältemischung gekühlt und dann in ein Gefäss mit salpetersaurem Ammoniak automatisch eingeführt. Die so hergestellte kalte Lösung wird mittels einer Circulationspumpe durch einen Behälter geführt, in welchem die Eisgefässe hängen, oder durch Röhren, welche sich in den zu kühlenden Räumen befinden; von dort wird die kalte Lösung durch den Vorkühler behufs Köhlen des Wassers geleitet und darauf in das Eindampfungsgefäss, um das Salz wieder zu gewinnen. Wie man sieht, ist dies im Grunde das Siemens'sche Verfahren. Die Herstellungskosten des Eises in einem Apparate, der in 24 Stunden 15000 kg Eis erzeugte, sollen sich auf etwa 90 Pfg. für 100 kg Eis stellen.

Der Haupt-Kostenaufwand liegt in der Eindampfung und dem dazu nöthigen Brennmaterial. Da in warmen Klimaten ein Theil der Eindampfung an der Luft oder Sonne stattfinden könnte, so dürfte dort eine gelegentliche Anwendung dieser Apparate auch heute noch nicht ausgeschlossen sein, sobald es sich um Beschaffung geringerer Eismengen handelt, etwa für den Hausbedarf.

So hat sich C. Rossi in New-Jersey einen Apparat patentiren lassen, welcher in Fig. 1 skizzirt ist. Die angewandte Kältemischung besteht aus salpetersaurem Ammoniak und Wasser. In konzentrischen Gefässen *A* und *B* bewegen sich die Rührer *C* und *E*, welche durch die oben angebrachten Räder in Betrieb gesetzt werden. In dem inneren Gefässe befinden sich die Gefrierzellen, welche von Wasser umgeben sind. Dasselbe wird zuerst durch Kältemischung im Gefässe *A* abgekühlt und dann selbst mit dem Salze gemischt, wodurch die zum Gefrieren des Wassers in den Zellen erforderliche niedrige Temperatur erzeugt wird. Vorgekühlt wird dieses Wasser in dem mit Schlangenrohren versehenen Gefässe *R*, durch welche die in den Behältern benutzt gewesene Kälteflüssigkeit fliesst, bevor sie in die Abdampfapparate wandert, in denen die Eindampfung vor sich geht.

C. Rossi's
Apparat.

Bei Weitem wichtiger für die Eiserzeugung ist die Benutzung der molekularen Zustandsänderung beim Uebergang der Körper aus der flüssigen in die Dampfform wegen der grossen dabei gebundenen Wärme, der Verdampfungswärme.

Welche Stoffe sich zur Benutzung in diesem Zweige der Kälteerzeugungs-Maschinen eignen, darauf komme ich noch zurück, will nur hier bemerken, dass man diese Maschinen wegen der Verdampfung flüssiger Körper Verdampfungsmaschinen nennt.

Verdampfungs-
maschine.

Am geeignetsten sind nach dem Vorhergehenden zur Erzeugung der Kälte in diesen Maschinen Flüssigkeiten mit tief liegendem Siedepunkte. Ihre Wirkung beruht, wie schon hervorgehoben, darauf, dass die zur Verdampfung erforderliche Wärme dem sie umgebenden Körper, der Kälteflüssigkeit in der Regel, entzogen wird, die dadurch auf die erforderliche Kältetemperatur gebracht wird. Damit man die verdampfte Flüssigkeit in der Maschine wieder benutzen kann und sie nicht als Dampf entweicht, ist es Aufgabe der Kälteerzeugungs-Maschine, den verdampften Körper wieder in den flüssigen Zustand zurückzuführen und die dabei frei werdende latente Wärme mittels Kühlwasser abzuleiten.

Bei der Zurückführung des Gases in die flüssige Form werden die zwei Verfahren eingeschlagen, entweder das Gas durch Absorption zu verdichten, d. h. durch Lösung desselben in Wasser oder einer anderen absorbirenden Flüssigkeit, wobei es sich selbst zur Flüssigkeit verdichtet, oder es wird durch Kompression und Kühlung in Flüssigkeit verwandelt, d. h. es wird durch Ausübung mechanischen, beweglichen Druckes, mittels

einer Kompressionspumpe, in einen Kondensator gedrückt, in welchem es sich unter dem Einflusse des Druckes und des Kühlwassers niederschlägt.

Man unterscheidet hiernach: Verdampfungsmaschinen mit Absorptionsapparat und Verdampfungsmaschinen mit Kompressionspumpen.

Von den Flüssigkeiten, welche zum Betriebe der Verdampfungsmaschinen als Verdampfungskörper benutzt werden, haben die folgenden die meiste Verwendung gefunden:

Flüssigkeit.	Wasser	Aether	Schwefelsäure- anhydrid	Methyläther	Ammoniak	Kohlensäure
Siedepunkt.	100° C.	35° C.	10° C.	21° C.	38,5° C.	78° C.
Latente Wärme in Wärmeeinheiten	~ 540 Cal.	90 Cal.	94,5 Cal.	130 Cal.	315 Cal.	84 Cal.

Sehr beliebt sind die Ammoniak-Verdampfungsmaschinen geworden: theils wegen des tief liegenden Siedepunktes und der grossen latenten Wärme des flüchtigen Ammoniaks, weil daraus sich das geringe Grössenverhältniss dieser Maschinen, anderen gegenüber, bei übereinstimmender Leistung ergibt; theils wegen der Leichtigkeit, mit welcher das Ammoniakgas durch Absorption im Wasser in flüssigen Zustand übergeht. Wasser kann bis zu 30 Proc. Ammoniak absorbiren.

Zwischen Temperatur und Druck gesättigter Ammoniakdämpfe ist folgendes Verhältniss festgestellt*):

Tabelle I, für gesättigte Ammoniakdämpfe.

Spannung von Am- moniak- dämpfen.	Temperatur	Ueberdruck	Temperatur	Ueberdruck	Temperatur	Ueberdruck
	in Grad Cels.	in Atm.	in Grad Cels.	in Atm.	in Grad Cels.	in Atm.
	- 33	0,0	- 3	2,75	+ 12	5,50
	- 25	0,46	- 2	2,90	+ 13	5,73
	- 20	0,84	- 1	3,05	+ 14	5,97
	- 15	1,29	0	3,21	+ 15	6,21
	- 14	1,39	+ 1	3,38	+ 16	6,45
	- 13	1,50	+ 2	3,54	+ 17	6,70
	- 12	1,61	+ 3	3,71	+ 18	6,96
	- 11	1,72	+ 4	3,89	+ 19	7,23
	- 10	1,83	+ 5	4,07	+ 20	7,51
	- 9	1,95	+ 6	4,27	+ 25	8,98
	- 8	2,08	+ 7	4,46	+ 30	10,62
	- 7	2,21	+ 8	4,66	+ 35	12,46
	- 6	2,34	+ 9	4,86	+ 40	14,50
	- 5	2,46	+ 10	5,07		
	- 4	2,60	+ 11	5,29		

*) Zeuner, Technische Thermodynamik II.

Zur Erzeugung von Eis bedürfen Verdampfungsmaschinen einer bis unter 0° C. gekühlten Flüssigkeit mit tiefliegendem Gefrierpunkte, in welche die Gefässe mit dem zu gefrierenden Wasser gestellt werden. Man verwendet dazu eine Lösung von Kochsalz oder Chlorkalcium oder Chlorammonium in Wasser, welche je nach dem Procentgehalte an Kochsalz oder Chlorkalcium oder Chlorammonium seinen Gefrierpunkt ändert:

Tabelle II, über Salzgehalt und Gefrierpunkte von Kochsalz-lösungen (nach Karsten).

Procent- gehalt an Kochsalz	Specif. Ge- wicht bei 4° C.	Specif. Ge- wicht bei 18,75° C.	Gefrier- punkt Grad C.	Procent- gehalt an Kochsalz	Specif. Ge- wicht bei 4° C.	Specif. Ge- wicht bei 18,75° C.	Gefrier- punkt Grad C.
1	1,007	1,007	— 0,8	8	1,061	1,058	— 6,0
2	1,015	1,015	— 1,5	9	1,068	1,066	— 6,7
2,5	1,019	1,018	— 1,9	10	1,076	1,073	— 7,4
3	1,023	1,022	— 2,3	12	1,091	1,088	— 8,9
3,5	1,026	1,025	— 2,7	15	1,115	1,111	— 11,0
4	1,030	1,029	— 3,0	20	1,155	1,150	— 14,4
5	1,037	1,036	— 3,8	24	1,187	1,182	— 17,1
6	1,045	1,043	— 4,5	26	1,204	1,199	— 18,4
7	1,053	1,051	— 5,3	29	—	—	— 20,4

Gefrier-
punkt von
Salz-
lösungen.

Aehnlich verhält sich die Chlorkalciumlösung.

Tabelle III, über Salzgehalt und Gefrierpunkte von Chlorkalcium-lösungen (nach Rüdorf und Gerlach).

Procent- gehalt an Chlor- kalcium	Specif. Gew. b. 15° C.	Gefrier- punkt Grad C.	Procent- gehalt an Chlor- kalcium	Specif. Gew. b. 15° C.	Gefrier- punkt Grad C.	Procent- gehalt an Chlor- kalcium	Specif. Gew. b. 15° C.	Gefrier- punkt Grad C.
1	1,009	— 0,5	10	1,087	— 5,6	18	1,163	— 12,5
2	1,017	— 0,9	11	1,096	— 6,3	19	1,173	— 13,6
3	1,026	— 1,4	12	1,106	— 7,0	20	1,182	— 14,8
4	1,034	— 1,9	13	1,115	— 7,8	21	1,193	— 16,1
5	1,043	— 2,5	14	1,124	— 8,7	22	1,203	— 17,5
6	1,051	— 3,0	15	1,134	— 9,6	23	1,213	— 19,0
7	1,060	— 3,6	16	1,143	— 10,5	24	1,223	— 20,5
8	1,069	— 4,2	17	1,153	— 11,5	25	1,234	— 22,1
9	1,078	— 4,9						

Für die Wahl des einen oder anderen Stoffes als Medium in der Verdampfungsmaschine sind verschiedene Gründe maassgebend, deren entsprechende Berücksichtigung des Werthes derselben noch heute die verschiedenen Konstrukteure zu ihrer Wahl bestimmt.

Kochsalz ist selten rein, und es sind vielfach Zerstörungen an den eisernen Rohrleitungen, namentlich Durchrosten derselben beobachtet

worden. In vielen Staaten existirt die Salzsteuer, welche die Verwendung von Salz in Fabriken nur in sogenanntem denaturirten Zustande zulässt, d. i. mit anderen Stoffen vermischt, welche es zum Genuss unbrauchbar machen. Häufig wird es dann mit Substanzen versetzt, die den Röhren schädlich sind.

Chlorkalcium dagegen wird häufig von den Chemischen Fabriken in unreinem Zustande geliefert, worauf zu achten. Es ist ferner ausserordentlich hygroskopisch, das heisst, es zieht Wasser aus der Luft an. Dadurch wird es natürlich minderwerthig. Die vorstehende Tabelle bezieht sich auf wasserfreies (99 Proc.) Chlorkalcium.

Häufig wird jetzt auch Chlorammonium benutzt.

Das älteste Verfahren der Eiserzeugung ist in Indien mittels Verdampfen von Wasser in Gebrauch. Eine Anzahl flacher Schalen von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Tiefe werden mit Wasser gefüllt und in einen etwa 2 Fuss tiefen Kasten gestellt, der mit Stroh angefüllt ist. In trockenen Nächten verdampft ein Theil des Wassers in den Schalen schnell, und da sie durch das Stroh gut gegen Wärmeaufnahme von aussen isolirt sind, so kann die hohe Verdampfungswärme des Wassers nur aus dem Wasser selbst entnommen werden, so dass der Rest zum Gefrieren kommt. Es bildet sich auf diese Weise eine dünne Eiskruste.

Leslie's
Maschine.

Im Jahre 1810 benutzte Leslie bereits die Luftpumpe zur Eiserzeugung, indem er in einem kleinen Apparate durch Absaugung der Dämpfe unter der Luftpumpe etwa $\frac{1}{2}$ kg Eis herstellte und die Dämpfe dann durch starke Schwefelsäure absorbiren liess.

Perkins
Maschine.

Die durch Perkins im Jahre 1834 konstruirte Maschine benutzte ein flüchtiges Destillationsprodukt von Kautschuk, welches sich in dem Mantelraum einer doppelwandigen kupfernen Pfanne befand, die mit Wasser gefüllt war. Der Mantel war gegen Erwärmung von aussen durch Einhüllung mit schlechten Wärmeleitern geschützt. Mittels einer Pumpe wurde die flüchtige Flüssigkeit in dem Mantelraum zum Verdampfen gebracht, wobei die erforderliche Verdampfungswärme aus dem Wasser in der Pfanne entnommen wurde, das dadurch zu Eis erstarrte. Die Dämpfe des Kautschukdestillats wurden in einer Rohrschlange, die von Wasser umgeben und gekühlt war, wieder zur Flüssigkeit verdichtet und dann in den Mantelraum zurückgeleitet.

Harrison's
Maschine.
Siebe, Gorman & Co.'s
Aether-
maschine.

Im Jahre 1857 wurde dann James Harrison ein Maschinensystem patentirt, das von Siebe und dessen Nachfolgern Siebe, Gorman & Co. in London gebaut wurde. Als Verdampfungsflüssigkeit diente Aether von 0,720 specifischem Gewicht, dessen Verdampfungswärme 90 W.E. ist. Das specifische Gewicht der Dämpfe verglichen mit Luft ist 2,943, der Siedepunkt liegt bei etwa $+35^{\circ}$ C.

In Fig. 2 ist eine solche Maschine abgebildet, mit welcher Eis hergestellt wurde. In einem Refrigator oder Verdampfer *A*, der aus einem geschlossenen kupfernen Gefässe bestand, befand sich eine Anzahl kupferner Röhren, durch welche Salzwasser circularte. Das Gefäss selbst empfängt durch ein Rohr *a* und Ventil *b* den flüssigen Aether aus dem Kondensator *B*, während die in dem Verdampfer sich bildenden Dämpfe durch die Pumpe abgesaugt werden. Mittels Ventils *c* wird der Druck in dem Kondensator *B* so regulirt, wie man ihn zur Kondensation der Dämpfe

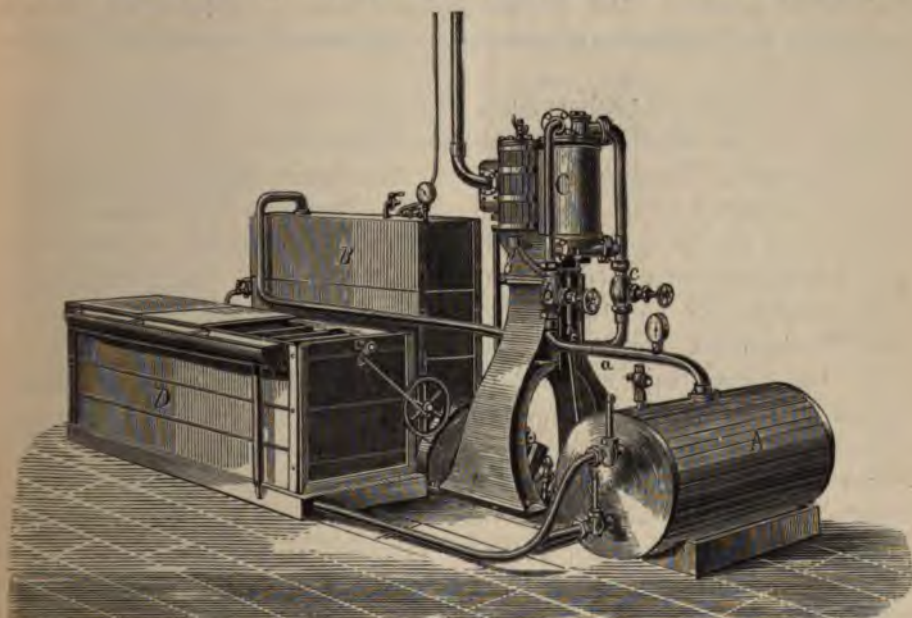


Fig. 2.

gebraucht. Je grösser das Vacuum im Verdampfer ist, d. h. je mehr sich die Spannung dem absoluten Vacuum nähert, desto niedriger wird die erzeugte Temperatur, und daher die Abkühlung der in den Röhren circulirenden Salzlösung. Dagegen wird die Leistung der Maschine höher, je stärker die Spannung ist, d. h. je mehr sie sich der Atmosphäre nähert, weil die Dämpfe dann dichter sind und die Pumpe also ein grösseres Gewicht derselben absaugt. Allerdings liegt die Temperatur im Verdampfer dann entsprechend höher und kann daher die Abkühlung der Salzlösung nicht bis zu so niedrigen Temperaturen geschehen; wohl aber wird eine entsprechend grössere Menge gekühlt. Bei Eisfabrikation wird ein Vacuum von 63 bis 64 cm unter dem Atmosphärendruck gewöhnlich angewendet, entsprechend einer Verdampfungstemperatur von etwa -12°C .

Die durch die Pumpe *C* abgesaugten Aetherdämpfe werden in den Kondensator gedrückt und dort zur Flüssigkeit condensirt. Der Kondensator

sator *B* besteht aus einer Anzahl Kupferröhren, welche untereinander verbunden in einem Holzkasten liegen, durch welchen Kühlwasser fließt. Die Kondensation des Aethers findet in unseren Klimaten gewöhnlich unter einem Druck von etwa 0,2 Atmosphären statt, in warmen Klimaten steigt derselbe jedoch oft bis 0,6 bis 0,8 Atmosphären.

In dem abgebildeten Apparate wird das Eis nach dem Kannen- oder Muldensystem hergestellt, bei welchem Mulden von Kupferblech oder Stahl in einem Kasten *D* hängen, durch den das im Verdampfer abgekühlte Salzwasser circulirt. Die Mulden sind mit dem zu gefrierenden Wasser angefüllt; sie werden herausgenommen und entleert, sobald das Eis gebildet ist.

Das sogenannte Zellensystem zur Eiserzeugung besteht aus einem Kasten, der in Zellen von etwa 40 cm Weite getheilt ist, die mit dem zu gefrierenden Wasser angefüllt sind. Dazwischen fließt die kalte Salzlösung, so dass an den Wänden der Zellen die Eisbildung vor sich geht. Man bricht das Eis heraus, sobald es dick genug geworden ist, oder lässt es zusammenfrieren zu einem Stück, je nach Bedarf. Um krystallklares durchsichtiges Eis zu erhalten, wird das zu gefrierende Wasser bewegt und durchgerührt, um die Luftblasen zu entfernen.

Die Herstellungskosten des Eises mit Aethermaschinen werden angegeben zu etwa 60 Pfennige für 100 kg Eis, wenn die Maschine durch eine gute Compound-Dampfmaschine mit Kondensation betrieben wird.

Vorstehende Maschinen und Apparate dürften der Vergangenheit angehören. Inwieweit auch einige von den gegenwärtig noch gebräuchlichen Kältemaschinen, die in der Folge zur Darstellung gelangen sollen, sich überhaupt als ungenügend und zur Konkurrenz unfähig erweisen werden, wird sich aus der folgenden Darstellung von selbst ergeben.

Die beschriebene Aethermaschine giebt indessen ein allgemeines Bild aller Verdampfungsmaschinen mit Pumpe. Je nachdem der Siedepunkt der zur Anwendung gelangenden flüchtigen Flüssigkeit höher oder niedriger liegt, hat die Pumpe zur Erzeugung eines Vacuums oder zur Kompression zu dienen, muss sie also als Luftpumpe oder Kompressionspumpe konstruirt sein. Da die Abkühlung der verdichteten Dämpfe durch gewöhnliches Wasser, Brunnen- oder laufendes Wasser, vorgenommen wird, so muss die Verdichtung bei Temperaturen geschehen, welche höher liegen als die Temperatur des Kühlwassers. Letzteres hat häufig $+20^{\circ}$ C. und namentlich in warmen Klimaten noch höhere Grade, so dass die Verdichtung bei $+25^{\circ}$ bis $+30^{\circ}$ vorgenommen werden muss, um überhaupt eine genügende Wärmedifferenz gegen das Kühlwasser zu erhalten.

Spannung
der Medien
bei Kom-
pressions-
maschinen.

Daraus folgt dann bei den verschiedenen Stoffen die Spannung bei der Verdichtung. Aether, der bei $+35^{\circ}$ flüssig wird, braucht nur geringem Drucke (1,2 Atmosphären abs.) ausgesetzt zu werden, wie in der Beschreibung

der Aethermaschine schon bemerkt ist, um auf $+40^{\circ}\text{C}$. gebracht zu werden. Je tiefer der Siedepunkt der flüchtigen Flüssigkeit liegt, desto grösser wird im Allgemeinen die Spannung im Kondensator sein müssen. So wird, wie aus nachstehenden Tabellen IV und V zu ersehen, bei $+40^{\circ}\text{C}$. die Spannung der wasserfreien schwefligen Säure 6,145 Atmosphären, des Methyläthers 8,2, des Ammoniaks 15,495 und der Kohlensäure 91 Atmosphären betragen.

Tabelle IV.

Flüssigkeit resp. Dampf	Wasser	Wasser-freies Ammoniak	Schwefel-äther	Methyl-äther	Wasser-freie schweflige Säure	Pictet's Flüssig-keit	
Specificsches Gewicht des Dampfes verglichen mit Luft = 1 . . .	0,622	0,597	2,943	1,61	2,247	—	
Siedepunkt bei atmosphärischem Druck in Grad Celsius . . .	$+100^{\circ}$	$-38,5^{\circ}$	$+35^{\circ}$	-21°	-10°	-19°	
Latente Wärme b. atmosphärischem Druck in Wärmeeinheiten .	540	315	90,17	130	94,5	—	
Dampfspannung in Kilogramm pro Quadratcentimeter (Atmosphären) bei verschiedenen Temperaturen in Grad Celsius	-30°	—	1,153	—	—	0,379	0,77
	-25°	—	1,463	—	—	0,492	0,89
	-20°	0,0012	1,839	0,09	1,16	0,631	0,98
	-15°	—	2,291	0,115	1,42	0,800	1,18
	-10°	0,0026	2,828	0,15	1,72	1,003	1,34
	-5°	—	3,464	0,19	2,06	1,264	1,60
	0°	0,0061	4,207	0,243	2,47	1,533	1,83
	$+5^{\circ}$	0,0086	5,072	0,30	2,93	1,870	2,20
	$+10^{\circ}$	0,0121	6,069	0,38	3,46	2,263	2,55
	$+15^{\circ}$	0,0167	7,211	0,465	4,05	2,717	2,98
	$+20^{\circ}$	0,0229	8,509	0,57	4,72	3,239	3,40
	$+25^{\circ}$	0,0310	9,976	0,69	5,46	3,837	3,92
	$+30^{\circ}$	0,0415	11,622	0,84	6,29	4,515	4,45
	$+35^{\circ}$	0,0550	13,458	1,00	7,20	5,283	5,05
	$+40^{\circ}$	0,0722	15,594	1,196	8,20	6,145	5,72
	$+45^{\circ}$	0,094	17,740	1,40	—	7,103	6,30
	$+50^{\circ}$	0,121	20,203	1,66	—	8,182	6,86
$+60^{\circ}$	0,196	25,806	2,23	—	10,709	—	
$+70^{\circ}$	0,307	32,343	3,00	—	13,702	—	
$+100^{\circ}$	1,000	—	6,40	—	—	—	

Die Verdampfung andererseits muss bei so niedriger Temperatur vorgenommen werden, dass die gewünschte Abkühlung der zu kühlenden Flüssigkeit möglich ist. Zur Eiserzeugung, wozu man etwa -6 bis -8°C . in der Salzlösung gebraucht, muss die Verdampfung bei noch grösserer Kälte (-10° bis -12°C .) vorgenommen werden, während zur gewöhn-

Tabelle V.

	1.	2.	3.	4.		
	Siedepunkt Grad Celsius	Latente Wärme Wärme- einheiten pr. Kilogramm	Dichtigkeit der gesättig- ten Dämpfe beim Siede- punkt im Verhältniss zur Luft	Spannung der Dämpf- Atmosphären bei		
		a.		b.	c.	
				-20°	0°	+20°
Aethyläther	+ 34,956	90,17	2,943	0,09	0,243	0,57
Alkohol	+ 78,299	214,6	1,568	—	0,0167	0,059
Wasserfreie schwefl. Säure	10	94,5	2,247	0,631	1,533	3,239
Methyläther	- 21	130	1,61	1,16	2,47	4,72
Ammoniak	- 38,5	315	0,597	1,839	4,207	8,509
Kohlensäure	- 78,2	83,8	1,524	19,92	35,403	58,84

lichen Wasserkühlung 0° oder nur wenig stärkere Kälte genügt. Beim Aether zeigt die Tabelle V bei 0° und bei -20° C., für welche Grade die Tabelle berechnet ist, eine Spannung von 0,24 resp. 0,09 Atmosphären; die Pumpe muss also als Vacuumpumpe oder Luftpumpe konstruirt sein. Für schweflige Säure liegt die Spannung etwa $\frac{1}{2}$ kg über der Atmosphäre resp. ebensoviel unter derselben, während bei den übrigen Dämpfen die Spannung mehrere Atmosphären beträgt, bei Kohlensäure sogar 35 resp. 20 Atmosphären.

Das Diagramm Fig. 3 stellt graphisch das Verhältniss zwischen Temperatur und Druck für die verschiedenen bei Kältemaschinen angewendeten Medien dar, die Tabelle V dagegen giebt das Güteverhältniss in Zahlen.

Die Tabelle ist nach Zeuner's Mechanischer Wärmelehre berechnet, und wenn man annimmt, dass die Ansaugung der Dämpfe in die Pumpe bei 0° erfolgt, so würde aus der Rubrik 7b direkt die Leistung eines Kubikmeters Dampf abzulesen sein und sich aus dem Zahlenverhältniss die Grösse der Pumpe bei gleicher Leistung ergeben.

Der Kubikinhalt der Pumpe würde sich also in folgendes Verhältniss stellen, wenn Ammoniak gleich 1 gesetzt wird:

Aethyläther	Alkohol	Schweflige Säure	Methyläther	Ammoniak	Kohlensäure
12,23	140	2,46	1,52	1	0,174

Nach den Angaben von Linde hat man, um einen Centner Eis von -3° C. aus Wasser von +10° C. zu erzeugen, in seinen Ammoniak-Kompressionsmaschinen 5,6 cbm Ammoniak anzusaugen. Nach diesem Verhältnisse müssten also, um gleiche Leistung zu erzielen, angesaugt werden von

Aethyläther	Alkohol	Schweflige Säure	Methyläther	Ammoniak	Kohlensäure
68,5	784	13,78	8,51	5,6	0,97 cbm.

5.			6.				7.			
Dichtigkeit der Luft bei den Temperaturen der Rubrik 4 und dem Luftgewicht von Kilogramm pr. Kubikmeter			Dichtigkeit der Dämpfe bei den Temperaturen der Rubrik 4 Kilogramm pro Kubikmeter				Wärmeeinheiten pr. Kubik- meter Dampf bei			
0°	+ 20°	+ 40°	- 20°	0°	+ 20°	+ 40°	- 20°	0°	+ 20°	+ 40°
0,314	0,737	1,546	0,341	0,924	2,169	4,55	30,75	83,32	195,58	410,27
0,0216	0,0763	0,228	—	0,0339	0,120	0,358	—	7,27	25,75	76,82
1,952	4,267	8,01	1,831	4,386	9,588	18,0	173,03	414,48	906,07	1701
3,194	6,103	10,60	2,415	5,142	9,826	17,066	313,95	688,46	1277,38	2218,58
5,418	10,861	20,688	1,421	3,235	6,48	12,35	447,6	1019,0	2041,2	3890
45,782	76,080	117,66	39,258	69,772	115,94	179,3	3291,82	5846,89	9715,77	15025

Das Diagramm Fig. 4 stellt diese Cylindervolumina graphisch dar.

In ähnlichem Verhältnisse, wie die Grösse der Pumpe, stehen dann natürlich auch die übrigen Theile der Maschine, die Reibungsverluste u. s. w.

Daraus wird denn auch sofort einleuchtend, dass theoretisch die Ammoniak-Verdampfungsmaschinen mit Pumpe vortheilhafter arbeiten müssen, als die Aethermaschinen. Praktisch wird dies vollkommen bestätigt, denn die Ammoniak- und Schwefligsäure-Kompressionsmaschinen haben sich ausserordentlich schnellen Eingang verschafft, während die Aethermaschinen geringere Resultate aufzuweisen haben, und neuerdings gar nicht mehr gebaut werden.

Das Hauptverdienst um die erste wirklich gewerbliche Einführung der Verdampfungsmaschinen ist Carré zuzuschreiben, welcher im Jahre 1867 auf der Weltausstellung zu Paris eine derartige Maschine (Ammoniak-Verdampfungsmaschine) ausstellte, welche grosse Mengen Eis lieferte. Es erregte grosses Aufsehen, und die Aufmerksamkeit des Publikums wurde auf die praktische Bedeutung dieser Maschine gelenkt, obwohl schon etliche Jahre zuvor von Carré derartige Maschinen gebaut und auch in Thätigkeit gesetzt waren.

Carré's
Maschine.

Carré's System besteht in Ammoniak-Verdampfungsmaschinen mit Absorptionsapparat.

Deutsche Fabriken, welche sich mit Erbauung dieser Maschinen nach Carré's System hervorragend beschäftigten, waren die Firmen: Vaass & Littmann in Halle (S.) und Oskar Kropff in Nordhausen. Neuerdings einige andere Hallesche Firmen u. s. w.

Ammoniak-Verdampfungsmaschinen mit Kompressionspumpen sind zuerst von Professor Linde konstruirt, dessen Gesellschaft für Linde's Eismaschinen in Wiesbaden die Anlage solcher Maschinen übernimmt,

Linde's
Maschine.

die von der Maschinenfabrik Augsburg in Augsburg für Deutschland zuerst gebaut wurden, von Gebrüder Sulzer in Winterthur für das Ausland u. s. w.

Seit einer Reihe von Jahren werden Verdampfungsmaschinen mit Osenbrück's Maschine. Kompressionspumpe auch von Osenbrück & Co. in Bremen und dasselbe System von der Maschinenfabrik Germania in Chemnitz, sowie von

Spannungs-
kurven.

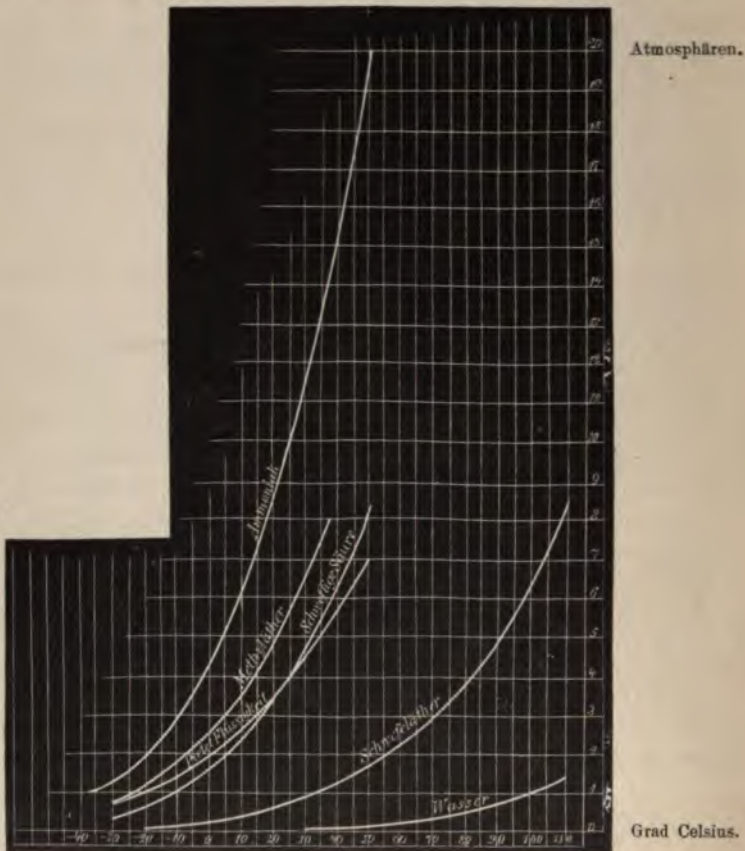


Fig. 3.

der Maschinenfabrik Esslingen gebaut, und von einer weiteren Anzahl von Maschinenfabriken.

Endlich werden Kohlensäure-Verdampfungsmaschinen mit Kompression von der Maschinenfabrik Deutschland in Essen nach dem System des Dr. Raydt's Maschine. nach demselben System von der Friedrich August-Hütte in Potschappel, sowie solche nach den Windhausen'schen Patenten von L. A. Riedinger in Augsburg, und endlich von der Halle-schen Maschinenbau-Anstalt Vaass & Littmann geliefert.

Wind-
hausen's
Maschine.

In Frankreich und der Schweiz werden ausserordentlich lebhaft die Schwefligsäure-Maschinen von Pictet durch die Compagnie industrielle les procédés Raoul Pictet in Paris vertrieben, welche dieselben in grosser Zahl auch in überseeische Länder geliefert hat. Dasselbe System wird in Deutschland von Schüchtermann & Kremer in Dortmund gebaut, sowie von Borsig in Berlin, der Königsberger Maschinenfabrik u. s. w. Pictet wendet wasserfreie schweflige Säure als Verdampfungsflüssigkeit an, über deren Verhalten für diesen Zweck schon gesprochen wurde. Die Maschinen arbeiten mit Kompressionspumpe.

Pictet's
Maschine.

Im Jahre 1884 und 1885 sind von Pictet Versuche mit einem Gemisch von schwefliger Säure mit Kohlensäure gemacht worden, über welche er sehr günstige Resultate veröffentlichte. Ich komme auf diesen Gegenstand, wie überhaupt auf die verschiedenen Maschinenkonstruktionen noch speciell zurück. Einstweilen sei nur auf die Kurve in Fig. 3 verwiesen, aus welcher das angebliche Verhalten dieser als Flüssigkeit Pictet von dem Erfinder bezeichneten Mischung hervorgeht.

Tellier in Paris wendet Methyläther in seinen Maschinen als Verdampfungskörper an.

In England sind bis vor einiger Zeit Aethermaschinen von Siebe, Gorman & Co. gebaut worden, seit Kurzem jedoch ist diese Firma übergegangen zu dem Bau von Ammoniak-Kompressionsmaschinen nach dem System von T. B. Lightfoot in London; dagegen werden noch jetzt Aethermaschinen geliefert von Siddeley & Co. in Liverpool und West & Co. in Southwark.

Pictet's
Flüssigkeit

Tellier's
Maschine.

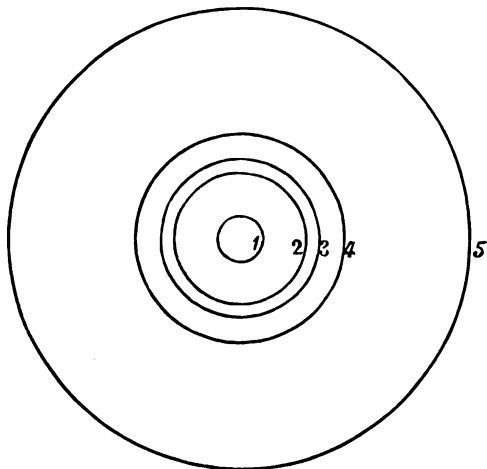


Fig. 4. 1. Kohlensäure, 2. Ammoniak, 3. Methyläther, 4. Schweflige Säure, 5. Aethyläther.

In Amerika sind eine grössere Anzahl hervorragender Firmen mit dem Bau von Verdampfungsmaschinen beschäftigt, die aber grösstentheils Ammoniak nach dem Kompressionssystem benutzen. So baut Fred. W. Wolf in Chicago die Linde'schen Maschinen, ferner die de la Vergne Refrigerating Machine Co. in New-York nach dem de la Vergne-System, die Arctic Ice Machine Co. in Cleveland, die Consolidated Ice Machine Co. in Chicago ähnliche Systeme u. s. w.

Aether-
maschinen

Ammoniak
maschinen

Ich komme auf alle diese verschiedenen Konstruktionen noch weiter hinten speciell zu sprechen.

Hierher gehören auch die Vacuum-Eismaschinen des Internationalen Vacuum-Eismaschinen-Vereins in Berlin nach Windhausen's Patent, bei denen in Folge Wasserverdampfung mit Hülfe eines Vacuums die Eis-erzeugung bewirkt wird.

Auf Seite 10 ist schon angegeben, dass Wasser eine sehr hohe latente Wärme besitzt, 540 Calorien, die kaum von irgend einem Körper über- troffen wird. Indessen liegt der Siedepunkt unter gewöhnlichem Atmo- sphärendruck bekanntlich bei 100°C . Um die latente Wärme für unsere Zwecke nutzbar zu machen, bleibt nur übrig, mittels der Luftpumpe den Siedepunkt des Wassers soweit herabzuziehen, dass Eisbildung oder ent- sprechend niedrige Temperaturgrade erzielt werden. Bei 0° , wo die Eis- bildung vor sich gehen kann, ist die Spannung der Dämpfe 4,6 mm Queck- silbersäule oder 0,0006 Atmo- sphären. Es gehört eine sehr gute Luftpumpe dazu, um eine so weit- gehende Spannungsverminderung zu schaffen.

Auf Seite 12 ist bereits er- wähnt, dass schon im Jahre 1810 Leslie eine kleine Vacuum- maschine konstruirte, in welcher, wie es noch jetzt geschieht, die abgesaugten Wasserdämpfe in starker Schwefelsäure absorbirt werden. Letztere wird dann zur Wiederbenutzung eingedampft.



Fig. 5.

Carré hat dann später Maschinen nach diesem System in kleinem Maasstabe für häusliche Zwecke gebaut, in welchen eine kleine vertikale Vacuumpumpe die Luft aus gläsernen Karaffen oder Eimern absaugt und dort vor den Augen Eisbildung hervorruft. Zwischen der Pumpe und dem Wasserbehälter oder der Karaffe liegt ein Bleicylinder, zu dreiviertel mit Schwefelsäure gefüllt, über welche die abgesaugte Luft und Wasser- dämpfe streichen. Letztere werden von der Schwefelsäure absorbirt. Das Vacuum bewirkt schnelle Verdampfung, welche schnell die Temperatur des Wassers reducirt, so dass in 4 bis 5 Minuten die Karaffen mit porösem Eis ausgefroren sind.

Noch jetzt sind solche kleine Maschinen in Gebrauch und zeigt Fig. 5 eine solche von Duvallon & Csete. Die Maschine erklärt sich leicht, *L* ist die Pumpe, *D* die Eisbildner, *A* der Regulir-Spritzhahn. In dem liegenden Cylinder befindet sich die Schwefelsäure behufs Absorption des Wasserdampfes. Wenn vor der Füllung das zu gefrierende Wasser luft- leer gemacht ist, so wird das Eis krystallklar. So lange alle Verbindungen

Leslie's
Vacuum-
maschine.

Carré's
Vacuum-
maschine.

Duvallon &
Csete's
Vacuum-
maschine.

dicht sind und die Pumpe in gutem Zustande, arbeiten diese Maschinen gut; sobald aber die gute Instandhaltung fehlt, versagen sie leicht.

In Fig. 6 ist eine solche Vacuum-Eismaschine abgebildet, wie sie von dem Verfasser vielfach nach überseeischen Ländern geliefert worden sind. Ganz ähnlich sind die kleinen Maschinen von Fleuss, die in den Fig. 7 und 8 dargestellt sind. Sie werden von Bieberstein & Gödecke in Hamburg geliefert und wie folgt beschrieben:

Der Betrieb erfolgt durch Drehen eines mit einer Handkurbel versehenen Schwungrades und ist nur ein geringer Kraftaufwand erforderlich; als Kältemittel gelangt gewöhnlich konzentrirte, sogen. englische Schwefel-



Fig. 6.

säure im specifischen Gewicht von annähernd 1,846 zur Anwendung. Bei der Herstellung von Blockeis verfährt man wie folgt: Der Gummi-Dichtungsring wird in Wasser getaucht und in nassem Zustande unter dem Deckel des Eiscylinders befestigt. Der Deckel wird alsdann fest auf den Cylinder aufgeschraubt, nachdem man vorher das zu gefrierende Wasser — ein halbes Liter — hineingegossen hat. Alsdann stellt man das Gefäss in den Halter *F* und fügt das Mundstück in den Hals desselben. Man halte es erst fest, giesse etwas Wasser darum, um den Abschluss luftdicht zu machen, und bewege dann das Schwungrad, zu Anfang langsamer und dann schnell genug, so dass die Säure tüchtig im Ballon herumspritzt. Es ist zunächst besonders darauf zu achten, dass das Mundstück gut abgedichtet ist. Die Eisbildung ist an einem reifartigen weissen Nieder-

Fleuss's
Vacuum-
maschine.

schlag auf der Aussenseite des Cylinders zu erkennen, und wenn dieser Reif sich ganz über die untere Seite des Cylinders erstreckt, so ist dies



Fig. 7.

Windhausen's
Vacuum-
maschine.

Franz Windhausen baute zuerst im Jahre 1878 Vacuum-Eismaschinen in grossem Maassstabe ohne Benutzung von Schwefelsäure, ging

jedoch bald auch zu deren Verwendung über. Fig. 9 stellt diese ältere Maschine dar.



Fig. 8.

Luftverdünnung von 4 mm erhalten bleibe. Man lässt, um dies zu erreichen, das Gemenge auf seinem Wege zur Luftpumpe in *B* über Schwefelsäure streichen, die in einem Wasserbade kalt gehalten wird. Dabei wird

ein sicheres Zeichen, dass alles Wasser gefroren ist, was in 20 bis 30 Minuten der Fall sein wird. Alsdann nehme man den Cylinder ab, schraube den Deckel los und das Eis kann herausgenommen werden. Um es loszulösen, wärmt man die Aussenseite des Cylinders an. In ähnlicher Weise geschieht das Kühlen von Getränken oder anderen Flüssigkeiten in einer Karaffe, während Fruchteis direkt in dem Cylinder hergestellt wird; auch kann in letzterem Butter gekühlt werden, indem man sie auf fettgedichtetem Papier hineinthut und mit Wasser bespritzt.

Durch die Luftpumpe *D* wird in den Räumen *AA*, in welchen das Wasser gefrieren soll, Luftverdünnung von 4 mm absolutem Druck hergestellt und dann durch geeignete Vorrichtungen Wasser brausenartig in diese Räume geleitet. Da dieses Wasser nun schon in luftverdünnte Räume kommt, so trennt sich sofort daraus die mit dem Wasser vermengte Luft und etwa $\frac{1}{6}$ desselben wird zu Wasserdampf. Beides, Luft- und Wasserdampf, bilden ein Gemenge, das mit genügender Geschwindigkeit entfernt werden muss, damit die

der Wasserdampf begierig von der Schwefelsäure aufgesaugt, und die Luftpumpe hat nur die wenige aus dem Wasser entwickelte Luft zu entfernen wozu allerdings nicht viel Betriebskraft erforderlich ist. Die zurückgebliebenen $\frac{5}{6}$ Wasser erstarren in den Gefrierräumen *A* zu Eis, und wenn eine genügende Menge Wasser auf diese Weise zum Gefrieren gebracht worden ist, so hat sich ein Eisblock gebildet, der den Gefrierraum *A* ganz ausfüllt. Die Blöcke erhalten eine Grösse von 250 bis 1000 kg Gewicht, die man, nach Abschluss der Räume *A* von der Luftpumpe, durch Thüren, die sich von selbst öffnen, herausfallen lässt.

Die Arbeit wird, wie aus der Beschreibung hervorgeht, gänzlich durch Maschinen mit Pumpen verrichtet, und sogar bei der Eiserzeugung

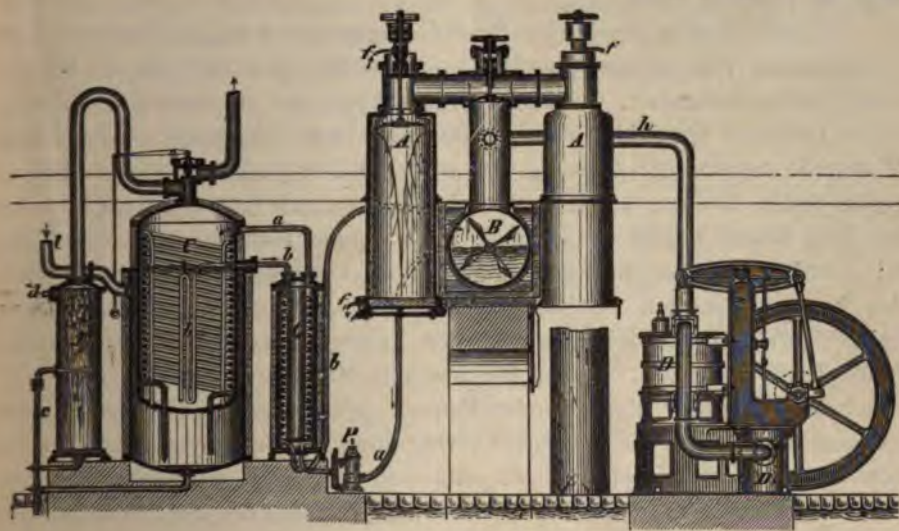


Fig. 9.

selbst sind Menschenhände kaum nöthig. Es hat hiernach den Anschein, als ob diese Maschinen recht günstig arbeiten können, wenn sie sich in der Praxis bewähren.

Da die Schwefelsäure durch Aufnahme der Wasserdämpfe sich verdünnt, so muss sie wieder konzentriert, d. h. ihr das Wasser entzogen werden. Dies geschieht in der Weise, dass die verdünnte Säure aus einem Bottich, in welchen sie geleitet wurde, in einen mit Heizröhren versehenen Apparat *C* übergeführt, in diesem unter Luftverdünnung zum Kochen erhitzt und dadurch das Wasser in Dampfform frei und durch den Apparat *J* entfernt wird. Die so wieder konzentrierte Schwefelsäure wird aus diesem Apparat, dem Konzentrationsapparat, nach einem Bassin, das verschlossen und auch unter Luftverdünnung steht, zurückgeführt, nachdem sie unterwegs in einem besonderen Gegenstromapparat *G* der aus

dem Bottich kommenden Schwefelsäure begegnet ist, diese dadurch erhitzt und sich selbst abgekühlt hat. Die Schwefelsäure kommt also auf diese Weise warm in den Konzentrationsapparat und abgekühlt wieder in das Sammelreservoir zurück.

Da das Kochen der Schwefelsäure wieder unter Luftverdünnung geschieht, so wird der sonst sehr hoch (326° C.) liegende Siedepunkt der Schwefelsäure wesentlich niedriger, und es ist dadurch ermöglicht das Sieden mit wenig Dampf zu erzielen, so dass dazu der Dampf verwendet wird, bevor (?) er zur Maschine kommt.

Es wird angegeben, dass man mit diesen Maschinen pro Kilogramm Kohle 15 bis 16 kg Eis erzeugen könne, was für diese Maschine eine erhebliche Leistung wäre.

Da das Wasser durch eine Brause eingespritzt wird, so bietet es der Verdampfung eine grosse Oberfläche und wird fast momentan in kleine Eiskristalle verwandelt, welche zu Boden fallen und zusammenfrieren mit einer gewissen Quantität Wasser, die sich dort ansammelt. Weil das Wasser in beständiger Wallung ist, so bildet der Eisblock keinen homogenen festen Körper, sondern enthält Löcher und Höhlungen, die sich mit Luft füllen, sobald der Eisblock die Maschine verlässt. Alle Versuche mit destillirtem oder luftfreiem Wasser sind ohne Erfolg gewesen, selbst das Zusammenpressen der Eisblöcke mittels hydraulischer Pressen hat keine befriedigenden Resultate ergeben. Der einzige Weg, um solides festes Eis zu erzielen, ist der bei anderen Maschinen beschriebene, bei welchem das Eis in Mulden oder Formen gebildet wird, die von kaltem Salzwasser umgeben sind, welches vorher durch Verdampfung eines Theiles von seinem Wasser unter Einwirkung der Luftpumpe abgekühlt worden ist. Allerdings würde dazu eine sehr gute Luftpumpe gehören und der Vortheil der direkten Eisbildung ginge verloren, indem solche auf dem auch bei anderen Maschinen gebräuchlichen Umwege vorgenommen würde.

Die latente Wärme, welche frei wird während des Ueberganges von Wasser in Eis, beträgt 79,2 W.E.; wenn das zum Gefrieren verwendete Wasser etwa 15° C. warm ist, so werden bei der Eisbildung pro Kilogramm Eis 94 W.E. frei. Unter dem Vacuum beträgt die Verdampfungswärme bei 15° Flüssigkeitswärme 596 W.E., so dass auf jedes Kilogramm oder Liter Wasser $\frac{596}{94} = 6,34$ kg Eis auf direktem Wege theoretisch erzeugt werden könnte. Die Fabrikanten der Vacuummaschinen geben an, dass es mit ihren Maschinen gelingt, das fünffache Quantum zum Gefrieren zu bringen, was eine hohe Leistung sein würde.

Je geringer der Druck wird, je mehr sich also die Luftleere der absoluten Luftleere nähert, desto niedriger ist die Gefriertemperatur. Bei 0° ist die Luftverdünnung 4,6 mm Quecksilbersäule, gleich $\frac{1}{165}$ Atmosphäre.

Es gehört allerdings eine sehr gute Luftpumpe besonders dann dazu, wenn man Salzwasser bis unter 0° abkühlen will, jedoch thut sie in dieser Maschine vollkommen ihre Schuldigkeit. Diese Vacuummaschinen werden der grossen praktischen Schwierigkeiten wegen jetzt kaum mehr gebaut.

Im Jahre 1878 hat James Harrison ein Patent genommen auf einen Vacuumapparat zur Eiserzeugung von eigenthümlicher Konstruktion, dessen Haupttheil in einem rotirenden Pumpencylinder besteht, der in Fig. 10 im Durchschnitt abgebildet ist, mit dessen Hülfe es gelingen soll, sehr starke Luftverdünnungen, und daher starke Verdampfung hervorzubringen, ohne mit den Uebelständen der Kolbenpumpen zu thun zu haben, d. h. dem Verlust der Reibungen im Kolben, den Undichtigkeiten desselben, sowie der Packungen u. s. w. Die Pumpe besteht aus einem hohlen, um eine horizontale Welle rotirenden eisernen Cylinder, der in Abtheilungen von L förmigem Querschnitt getheilt ist. Der Cylinder wird theilweise mit einer nicht verdampfenden Flüssigkeit angefüllt, oder vielmehr einer solchen, welche nur bei einer beträchtlich höheren Temperatur verdampft, als diejenige, bei welcher die Gefrierflüssigkeit sich in Dampf verwandelt. Die Flüssigkeit muss sich auch chemisch neutral gegen die mit ihr in Berührung gebrachten Dämpfe der anderen Flüssigkeit verhalten.

Harrison's
Vacuum-
apparat.

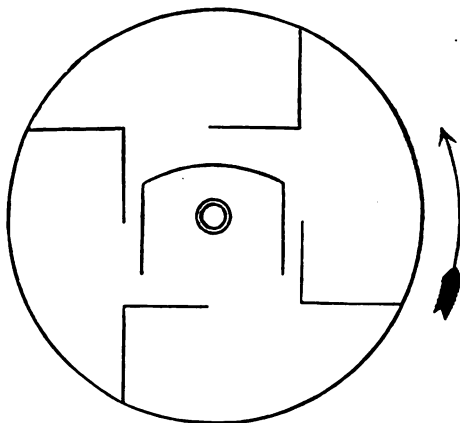


Fig. 10.

Gewöhnlich wird Oel angewendet. Der Gefrier- oder Eiskasten wird durch ein Rohr mit einem Ende einer festen hohlen Welle verbunden, auf welcher der Cylinder sich dreht, während im Innern des Cylinders ein anderes Rohr aufsteigt bis über die Oberfläche des Oeles. Die L förmigen Abtheilungen drehen sich rund um das Rohr, mit der Oeffnung nach unten, und die Dämpfe der Gefrierflüssigkeit mit sich führend und sie bis zu gewissem Grade bei Einpressen in das Oel komprimirend, bis sie, an der tiefsten Stelle des Cylinders angelangt, von der L förmigen Abtheilung frei werden und in die feste muldenförmige Abtheilung aufsteigen, welche um die hohle Welle befestigt ist. Von da gelangen die Dämpfe in das entgegengesetzte Ende der hohlen Welle, welches von dem ersteren durch eine Wand abgetrennt ist, und alsdann in einen Oberflächen-Kondensator, in welchem sie theilweise kondensirt werden durch die vereinigte Wirkung direkter Kühlung und der theilweisen Verdampfung

von auf die Oberfläche tröpfelndem Wasser. Das kondensirte Wasser wird durch eine kleine Pumpe auf Atmosphärendruck gebracht und dann fortgelassen.

Wenn dieser Apparat wirklich geht, so würde gegenüber der früher beschriebenen Vacuummaschine eine bedeutende Brennmaterialersparniss erzielt, weil die dort nöthige Eindampfung der von der Schwefelsäure aufgesaugten Wasserdämpfe gänzlich fortfällt und daher auch Kühlwasser erspart wird.

Galland's
Vacuum-
maschine.

Galland in Paris konstruirte eine sehr beachtenswerthe Maschine, die aber wohl nicht ausgeführt worden ist. Er verwendet als Absorptionsflüssigkeit an Stelle der Schwefelsäure basisch Zinkchlorür, welches bei 16° C. 48 Proc. seines Gewichtes an Wasserdämpfen absorbirt, und als Kälteflüssigkeit Chlormagnesium. Die Maschine ist in ihren Einzelheiten wesentlich anders konstruirt, als die bisher beschriebenen Vacuummaschinen und soll daher später specielle Berücksichtigung finden.

Carré's Ab-
sorptions-
maschine.

In der Benutzung des Absorptionsprozesses mit anderen flüchtigen Flüssigkeiten als Wasser war F. Carré im Jahre 1850 der erste, der die Thatsache in seinen Maschinen anwandte, dass manche Dämpfe mit niedrigem Siedepunkt sich leicht durch kaltes Wasser absorbiren lassen, aus welchem sie dann wieder durch Wärme ausgetrieben werden können. Er war der erste, der in dieser Weise mit Ammoniak die Kälteerzeugung betrieb, indessen ist es bis heute nicht gelungen ein wirklich wasserfreies Ammoniakgas hinüber zu destilliren, vielmehr pflegt dasselbe noch immer 25 Proc. Wasserdämpfe zu enthalten. Die Maschinen sind in der Folge sehr verbessert worden und werden später, als zu denen gehörig, welche noch jetzt viel gebaut werden, ausführlich behandelt werden.

Reece's Ab-
sorptions-
maschine.

Reece suchte diese Maschine im Jahre 1867 dadurch zu verbessern, dass er das Ammoniakgas, welches mit Dämpfen von anderem Siedepunkt gemischt ist, durch Kondensation derselben in fast wasserfreies Ammoniak verwandelt. Salmiakgeist von 0,880 specifischem Gewicht wurde zum Verdampfen gebracht und dadurch eine Mischung von Ammoniakdämpfen mit Wasserdämpfen erlangt. In Gefässen, die er Analyser und Rectifikator nennt, werden die Wasserdämpfe bei verhältnissmässig hoher Temperatur kondensirt und fliessen zurück in den Verdampfapparat, während das Ammoniakgas in einen anderen Kondensator gelangt, wo es unter Druck und Abkühlung von aussen flüssig gemacht wird. Das fast vollkommen wasserfreie Ammoniak wird dann in gewöhnlicher Weise im Refrigerator benutzt und im Absorptionskessel absorbirt und dann wie gewöhnlich weiter verfahren.

Pontifex &
Wood's Ab-
sorptions-
maschine.

Nachdem, wie gesagt, Carré seine Maschinen zu einer Form verbessert hatte, wie die später beschriebenen Vaass & Littmann'schen Maschinen heute noch aufweisen, konstruirten Pontifex & Wood den in

Fig. 11 abgebildeten Apparat. *A* ist der Generator, in welchem die Destillation des Ammoniaks durch Dampfschlangen vorgenommen wird, die ihren Dampf aus einem Dampfkessel empfangen; *B* ist der Analyser, *C* der Rectifikator und Kondensator, deren Wirksamkeit schon beschrieben ist. *D* ist der Refrigerator oder Kühler, in welchem das fast wasserfreie aus dem Kondensator herüber geflossene flüssige Ammoniak zur Verdampfung gelangt; *E* ist der Absorptionsapparat, durch welchen beständig die schwache Lösung aus dem Generator fließt, um die im Refrigerator entstandenen Ammoniakdämpfe zu absorbieren. *G* ist der Vorwärmer, in welchem die kalte starke Lösung auf ihrem Wege nach dem Generator durch die von dort kommende schwache Lösung vorgewärmt wird, und *F* sind die Pumpen, welche die vorgewärmte starke Lösung in den Generator zurückbefördern.

Die früher beschriebenen Kompressionsmaschinen haben eine Kombination mit dem Absorptionssystem dadurch erfahren, dass die Dämpfe der flüchtigeren Flüssigkeit durch eine Kompressionspumpe und Abkühlung flüssig gemacht wurden, welche dann die Dämpfe der weniger flüchtigen Flüssigkeit absorbiert.

Durch Mort & Nicolle in Sidney wurde, nachdem schon Young & Neilson vorher Vorschläge über solche Mischung der verschiedenartigsten flüchtigen Stoffe gemacht hatten, eine Maschine hergestellt, welche mit Ammoniak und Wasser in der bemerkten Weise arbeitet. Ein Verdampfer, Evaporator genannt, ist mit starker Lösung von Ammoniak in Wasser gefüllt, und an seiner höchsten Stelle in Verbindung mit der Saugseite der Pumpe, durch welche beim Ansaugen das Ammoniak verdampft wird. Die dazu nöthige Wärme wird dem Kühlwasser des Evaporators (Verdampfers) entnommen. Die schwache Lösung aus demselben wird mit den Dämpfen unter Druck der Pumpe in einem Absorptionsgefäß zusammengeführt, in welchem gleichzeitige Kühlung stattfindet. Die starke Lösung geht wieder in den Evaporator zurück.

Das System ist einerseits entsprechend den Kompressionsmaschinen, während gleichzeitig in dem Kondensator die Absorption stattfindet, und der Verdampfer gleichzeitig die Funktionen des Destillationskessels (Kochers) versieht. Bei Anwendung von Wasser kann aber im Verdampfer niemals

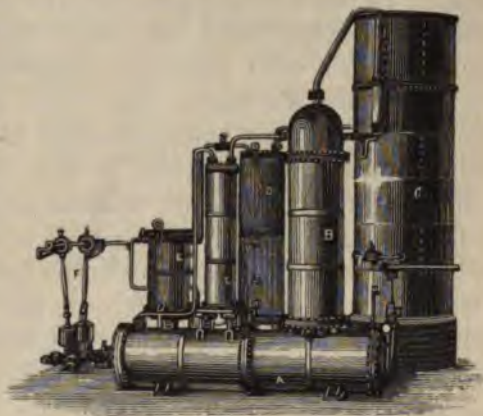


Fig. 11.

Mort & Nicolle's kombinierte Verdampfungs-
maschine.

eine Temperatur unter 0° erzielt werden, weil dann das Wasser in demselben zum Gefrieren kommen würde. Die Maschine kann also in Sidney wohl nur zum Kühlen, nicht aber zur Eisfabrikation dienen. Auch

brück's
binirte
Ter-
stungs-
chine.
ermanns
Korp-
ms-
chine. A. Osenbrück in Bremen hat eine Kombination von Absorption und Kompression des Ammoniaks durchgeführt, und zwar soll dieses Verfahren später ebenso ausführlicher besprochen werden, wie die durch Habermann vorgenommene bedeutende Verbesserung der reinen Absorptionsmaschinen, welche durch exakt durchgeführte Gegenströmung der verschiedenen Flüssigkeiten erfolgt. Diese Habermann'schen Maschinen werden in Halle von der Halleschen Maschinenfabrik vorm. Riedel & Kemnitz und in Prag von Novák & Jahn gebaut.

lotay &
sei's
saisig-
rits-
hung. De Motay & Rossi in New-York wenden, um die hohen Spannungen in den Kompressionsmaschinen zu vermeiden, eine Mischung von schwer siedendem Aether mit schwefliger Säure an, für welche Mischung sie sich nach einer Reihe von Experimenten entschieden, die sie mit vielen anderen Mischungen von Aether und Alkohol mit Säuren machten. Sie fanden, dass die Absorptionsfähigkeit des flüssigen Aethers für schweflige Säure so gross sei, dass er etwa das 300fache seines Volumens an schwefliger Säure aufnimmt, während die Spannung der gemischten Dämpfe bei $+15^{\circ}$ C. unter der Atmosphäre blieb. In der Maschine verdampfen beide Flüssigkeiten im Verdampfer unter der saugenden Wirkung der Pumpe; im Kondensator dagegen tritt die Kondensirung des Aethers schnell ein, der dann die schweflige Säure absorbirt.

stet's
igkeit. Endlich hat Raoul Pictet in Genf in seinen Kompressionsmaschinen, die mit schwefliger Säure arbeiten, eine Mischung angewendet von schwefliger Säure mit Kohlensäure, auf deren Erfolge ich in den nächsten Kapiteln specieller eingehen werde.

Mit Vorstehendem wäre der eine Weg entwickelt, der zur Kälteerzeugung benutzt wird, der zweite Weg besteht in der Expansion und Kompression der Luft; die Maschinen, die auf diesem Princip beruhen, werden Luftexpansionsmaschinen genannt. Die Maschinen benutzen das elastische Verhältniss zwischen Wärme und mechanischer Arbeit der atmosphärischen Luft zur Kälteerzeugung. Durch mechanische Arbeit wird ein Luftquantum zusammengepresst, die durch den Arbeitsaufwand zugeführte Wärme wird durch einen zweiten Körper, z. B. durch Kühlwasser, abgeführt, die komprimirte Luft behält daher ihre Anfangstemperatur. Lässt man nun das Luftquantum bis zu seinem Anfangsvolumen expandiren, so tritt eine der vorher entzogenen Wärmemenge entsprechende Temperaturerniedrigung ein.

Die erste Anwendung der Luft zur Kälteerzeugung scheint im Jahre 1845 durch Dr. Gorrie in New-Orleans versucht zu sein. Er komprimierte die Luft in einem Cylinder, in welchem Wasser während der Kompression eingespritzt wurde, um die Luft, die sich durch die Kompression erwärmt, abzukühlen. Die komprimierte Luft passirt dann ein Gefäss, welches von Wasser umgeben ist, und in welchem sie weiter durch das umgebende Wasser abgekühlt wird, um dann in den Expansionscylinder einzutreten, dessen Inhalt etwa $\frac{2}{3}$ des Kompressionscylinders beträgt. Die zu der Expansion der Luft erforderliche Wärme entnimmt sie einer Salzwasserlösung, welche in den Expansionscylinder eingespritzt wird. Letztere dient dann zu Kühlzwecken. Die Kolben der beiden Cylinder hingen in gewöhnlicher Weise mittels Kolbenstange und Pleuelstange an zwei Kurbeln einer gemeinschaftlichen Welle. Auf diese Weise wurde die durch Expansion der Luft auf den Kolben des Expansionscylinders wirkende Kraft mit benutzt zur Kompression derselben. William Siemens verbesserte die Maschine durch Einschaltung eines Regenerators, in welchem er die komprimierte Luft abkühlte mittels der aus den gekühlten Räumen abziehenden kalten Luft. Aehnliche Einrichtungen traf Kirk in London im Jahre 1863, ferner verbesserte P. Giffhard in Paris dieselbe, der Verfasser im Jahre 1867 und F. Windhausen 1869, sowie zahlreiche Andere. Mit Windhausen trat die Luftexpansionsmaschine in die Konkurrenz mit den anderen Systemen und fand praktische gewerbliche Anwendung. Gegenwärtig werden Luftexpansionsmaschinen vorzugsweise gebaut von Bell-Coleman in Glasgow und von Siebe, Gorman & Co. in London nach Patenten von T. B. Lightfoot.

Dr. Gorrie's
Luft-
maschine.

W. Siemens
Luft-
maschine.

Kirk, Giff-
hard, Beh-
rend und
Windhau-
sen's Luft-
maschine.

Lightfoot's
Luft-
maschine.

Zum besseren Verständniss der Luftexpansionsmaschinen will ich einiges aus der mechanischen Wärmelehre besprechen.

Es herrscht in der Natur zwischen der mechanischen Arbeit eines Körpers und der Wärme ein Gegenseitigkeitsverhältniss. Mechanische Arbeit kann in Wärme, Wärme in mechanische Arbeit verwandelt werden.

Mechanische Arbeit ist das Produkt aus Kraft und Weg eines Körpers.

Die Grösse der Wärme eines Körpers wird durch die Temperatur mit Berücksichtigung von Volum- und Druckverhältniss bestimmt. Um diese beiden Leistungen vergleichen zu können, muss ein gemeinschaftlicher Maassstab geschaffen werden. Derselbe ist gegeben durch das Verhältniss der Arbeitseinheit zur Wärmeeinheit. Für metrisches Maass ist eine Wärmeeinheit oder Calorie gleich 424 Meterkilogramm resp. Arbeitseinheiten.

Die Arbeitseinheit, das Meterkilogramm, stellt eine Leistung dar, welche im Stande ist, ein Kilogramm einen Meter hoch oder 0,5 Kilogramm

zwei Meter hoch zu heben u. s. w., weil das Produkt $1,0 \cdot 1,0 = 0,5 \cdot 2,0$ u. s. w. = 1 ist.

Die Wärmeeinheit ist diejenige Wärmemenge, welche einem Kilogramm Wasser von 0° zugeführt werden muss, um seine Temperatur um 1° C. zu erhöhen. Der technische Ausdruck für diese Wärmemenge ist auch Calorie.

Auch für andere Körper hat man die Wärmemenge bestimmt, welche erforderlich ist, um seine Temperatur pro Kilogramm Gewicht um 1° C. zu erhöhen. Durch Bildung des Verhältnisses dieser zu dem ersteren ist die sogenannte spezifische Wärme eines Körpers bestimmt, z. B.:

Tabelle VI.

Körper	Specifiche Wärme		Körper	Specifiche Wärme	
	bei konst. Gewicht	bei konst. Volumen		bei konst. Gewicht	bei konst. Volumen
Blei	0,0314	0,358	Kupfer	0,0951	0,837
Eis	0,504	0,464	Messing	0,0939	0,803
Schmiedeeisen	0,1138	0,876	Mörtel	0,22 bis 0,28	0,40 bis 0,46
Gusseisen	0,1298	0,935	Sandstein	0,24	0,564
Granit	0,28	0,784	Stahl	0,117	0,913
Buchenholz	0,49	0,368	Ziegelsteine	0,24 bis 0,30	0,58 bis 0,74
Eichenholz	0,51	0,352	Zinn	0,07	0,504
Fichtenholz	0,65	0,306	Zink	0,056	0,669
Tannenholz	0,60	0,336			

Für gasförmige Körper ist, wegen ihrer wechselnden Dichtigkeit, Volumen und Druckverhältniss zu berücksichtigen, z. B. für trockene atmosphärische Luft und Ammoniakgas.

	bei konstantem Volumen	bei konstantem Druck
Specifiche Wärme von Luft	0,1687	0,2377
„ „ von Ammoniakgas	0,3916	0,5084

Das Verhältniss zwischen mechanischer Arbeit und Wärme lässt sich also durch Rechnen bestimmen.

Die spezifische Wärme eines permanenten Gases, wie Luft, ist bei denjenigen Temperaturen, mit denen wir hier zu thun haben, ziemlich konstant, und ändert sich nicht mit seiner Dichtigkeit. Ein Kilogramm Luft hat daher stets gleiche spezifische Wärme, mag sie sich unter gewöhnlicher Spannung oder unter Druck von 4 bis 5 Atmosphären befinden, so lange seine Temperatur konstant ist; dagegen ändert sie sich mit Aenderung der Temperatur um ein Geringes. In einem geschlossenen Gefässe wächst der Druck bei gleichem Volumen, wenn die Luft in demselben erwärmt wird. Dagegen wird, wenn während der Erwärmung freie Ausdehnung bei konstantem Druck gestattet wird, äussere Arbeit durch Heben eines belasteten Kolbens in dem Gefässe geleistet. Durch Versuche ist

auf diese Weise obige spezifische Wärme bei konstantem Volumen und bei konstantem Druck festgestellt worden. Ändert sich Volumen und Druck, so ändert das natürlich auch die spezifische Wärme, die jedoch gefunden werden kann, indem man zu der normalen spezifischen Wärme diejenige hinzurechnet, welche während der Volumenänderung durch die geleistete mechanische Arbeit verloren ging.

Die innere Energie eines Körpers, z. B. eines permanenten Gases, ist seine Fähigkeit, Arbeit zu leisten und wird gemessen unter Verhältnissen, bei denen von aussen irgend eine Vermehrung oder Verminderung seiner Energie nicht eintreten kann. Wärme ist die einzige Ursache der Energie, und daher ist die Temperatur des Gases gleichzeitig das Maass für die Fähigkeit desselben, Arbeit zu verrichten. Durch Zunahme der Spannung entsteht keine Zunahme

der inneren Energie, wohl aber ist die Erhöhung der Spannung ein Mittel, um die innere Energie für uns durch Expansion des Gases nutzbar zu machen. Ein Kilogramm Luft besitzt dieselbe innere Energie bei gleicher Temperatur, ob sie der gewöhnlichen Atmosphärenspannung oder z. B. 4 Atmosphären Spannung

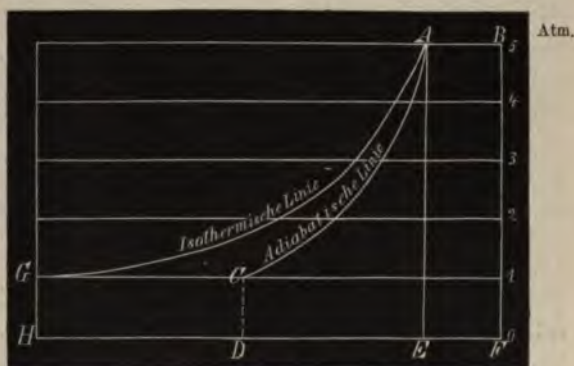


Fig. 12.

unterliegt, aber sie kann bei gewöhnlicher Atmosphärenspannung nicht durch Expansion nutzbar gemacht werden (wenn man sie nicht etwa unter den Recipienten einer Luftpumpe bringt), während das bei höherer Spannung ohne Weiteres geschehen kann, und zwar so lange, bis die innere Spannung gleich dem äusseren Widerstande ist. Bei allen Temperaturen

und Spannungen ist die Luft im Stande zu expandiren und daher äussere Arbeit zu verrichten. Wenn wir uns ein gewisses Volumen Luft eingeschlossen denken in einen Cylinder, welcher absolut keine Wärme durch seine Wandungen treten lässt, mit einem belasteten Kolben, der keinerlei Reibung verursacht, so ist klar, dass, sobald die auf dem Boden ruhende Last vermindert wird, die in dem Cylinder eingeschlossene Luft expandiren und den Kolben stets soweit verschieben wird, bis Gleichgewicht eingetreten ist. Es ist mit anderen Worten ein gewisses Quantum innerer Energie der Luft übergegangen in mechanische Arbeit durch Heben der auf dem Kolben ruhenden Last. Die totale innere Wärme der Luft, die derselben verloren gegangen ist, muss daher sich aus der geleisteten Arbeit berechnen lassen unter Zugrundelegung des mechanischen Wärmeäquivalents

Erklärung
der Luft-
maschine.

von 424 Meterkilogramm pro W. E. Die Aenderung des zusammengehörigen Druckes mit der Temperatur kann graphisch durch eine Kurve dargestellt werden, welche als adiabatische bezeichnet wird. Fig. 12 zeigt eine solche adiabatische Kurve bei Ausdehnung von 4 Atmosphären Ueberdruck bis zur gewöhnlichen Luftspannung. *AB* stelle das Luftvolumen dar bei 5 absoluten Atmosphären, welches nach der adiabatischen Kurve *AC* expandirt bis 1 Atmosphäre und bis zu dem Volumen *DF*. Die mechanische Arbeit, welche dabei verrichtet wurde, stellt sich dar durch die Fläche *ACDE*.

Aus der gesammten inneren Energie der Luft und anderer permanenter Gase hat sich die gesammte innere Wärme derselben berechnen lassen, was das übereinstimmende Resultat ergeben hat, dass bei völligem Verluste der inneren Energie die Temperatur der Körper bis zu -273° C. herabsinken muss. Man legt hierher deshalb den Nullpunkt der sogenannten absoluten Temperatur.

Das Verhältniss der spezifischen Wärme der Luft unter konstantem Druck zu dem unter konstantem Volumen ist $\frac{0,2377}{0,1687} = 1,41 : 1$. Die Verhältnisse zwischen absoluter Temperatur, Volumen und Druck von irgend welchen zwei Punkten der adiabatischen Kurve sind $\frac{T}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v}\right)^{0,41} = \left(\frac{p}{p_1}\right)^{0,29}$ worin T und T_1 die absoluten Temperaturen, v und v_1 die Volumina und p und p_1 die absoluten Spannungen sind, ferner $\frac{0,41}{1,41} = 0,29$.

Tabelle VII.

Beziehung zwischen				Volumen.		Beziehung zwischen				Volumen.	
absolutem Druck.		absoluter Temperatur.				absolutem Druck.		absoluter Temperatur.			
Verhältniss des stärkeren Drucks zum geringeren	Verhältniss des gering. Drucks zum stärkeren	Verhältniss der höh. Temperatur zur geringeren	Verhältniss der gering. Temperatur zur höheren	Verhältniss des gröss. Volumens zum kleineren	Verhältniss des klein. Volumens zum grösseren	Verhältniss des stärkeren Drucks zum geringeren	Verhältniss des gering. Drucks zum stärkeren	Verhältniss der höh. Temperatur zur geringeren	Verhältniss der gering. Temperatur zur höheren	Verhältniss des gröss. Volumens zum kleineren	Verhältniss des klein. Volumens zum grösseren
1,2	0,833	1,054	0,948	1,138	0,879	3,8	0,263	1,473	0,679	2,580	0,388
1,4	0,714	1,102	0,907	1,270	0,788	4,0	0,250	1,495	0,669	2,676	0,374
1,6	0,625	1,146	0,873	1,396	0,716	4,2	0,238	1,516	0,660	2,770	0,361
1,8	0,556	1,186	0,843	1,518	0,659	4,4	0,227	1,537	0,651	2,863	0,349
2,0	0,500	1,222	0,818	1,636	0,611	4,6	0,217	1,557	0,642	2,955	0,338
2,2	0,454	1,257	0,796	1,750	0,571	4,8	0,208	1,576	0,635	3,046	0,328
2,4	0,417	1,289	0,776	1,862	0,537	5,0	0,200	1,595	0,627	3,135	0,319
2,6	0,385	1,319	0,758	1,971	0,507	6,0	0,167	1,681	0,595	3,569	0,280
2,8	0,357	1,348	0,742	2,077	0,481	7,0	0,143	1,758	0,569	3,981	0,251
3,0	0,333	1,375	0,727	2,182	0,458	8,0	0,125	1,828	0,547	4,377	0,228
3,2	0,312	1,401	0,714	2,284	0,438	9,0	0,111	1,891	0,529	4,759	0,210
3,4	0,294	1,426	0,701	2,384	0,419	10,0	0,100	1,950	0,513	5,129	0,195
3,6	0,278	1,450	0,690	2,483	0,403						

Während der adiabatischen Kompression, d. h. also ebenfalls unter gleichen Umständen wie während der Expansion, wird die ganze mechanische Arbeit, welche zur Kompression erforderlich ist, in Wärme nach demselben Gesetze umgewandelt und der Luft zugeführt, die daher nach dem Verhältniss des mechanischen Wärmeäquivalents erwärmt wird:

$$Q = \frac{L}{424}.$$

In Tabelle VII sind die Verhältnisse zwischen absoluter Temperatur, Volumen und absolutem Druck für adiabatische Kompression und Expansion zu finden und für die Berechnung bequem gemacht.

Zurückgehend auf das frühere Beispiel mit dem Cylinder nehmen wir jetzt einmal an, dass die Luft bei der Expansion in dem Cylinder zur Hebung des belasteten Kolbens erforderliche Wärme durch die Cylinderwandungen wieder zugeführt wird, so dass die Expansion bei gleicher Temperatur erfolgt, so bleibt die kinetische Energie der Luft dieselbe. Die Kurve, nach welcher sich in diesem Falle die Expansion,

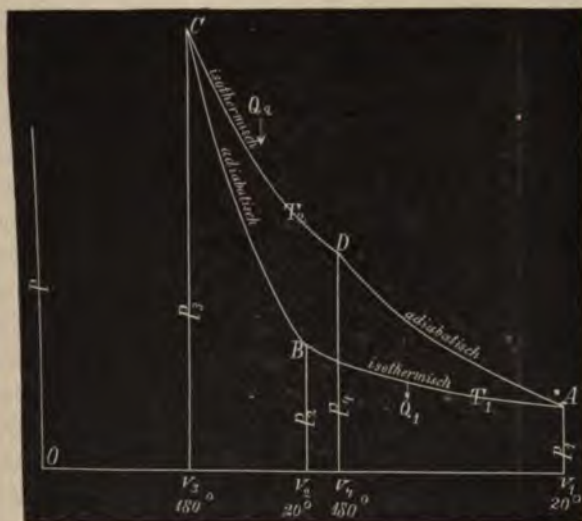


Fig. 13.

oder im umgekehrten Falle die Kompression, vollzieht, heisst die isothermische. Bei ihr stehen für verschiedene Punkte Druck und Volumen des Gases in umgekehrtem Verhältnisse, die Kurve ist die gleichseitige Hyperbel, welche auch für die Expansion gespannter gesättigter Wasserdämpfe gilt. Wir haben hier also die Arbeitskurve, nach welcher sich die Expansion oder Kompression bei gleicher Spannung der Luft vollzieht, sie ist in Fig. 12 durch die Linie AG dargestellt, die Arbeitsleistung durch die Fläche AGHE.

Man stellt sich nun den Hergang in einem Cylinder mit verschiebbarem belasteten Kolben, in welchem Luft komprimirt wird, die dann wieder expandirt, unter Wirkung eines Kreisprozesses vor, der als Carnot'scher Kreisprozess in der Wissenschaft bezeichnet wird, und der sich wie folgt nach Fig. 13 vollzieht:

Carnot'scher
Kreisprozess.

Wenn ein bestimmtes Gewicht atmosphärischer Luft von z. B. 20°C ., also von $273 + 20 = 293^{\circ}$ absoluter Temperatur, von dem Volumen v_1 und der Spannung p_1 , letztere dargestellt durch die Linie Ar_1 , in einem Cylinder von der Länge V_1O isothermisch bis V_2 zusammengedrückt wird, so behält die Luft während der Expansion die Temperatur T_1 bei, die Spannung aber verändert sich nach dem bekannten Mariotte'schen Gesetz auf p_2 , und zwar nach der isothermischen Linie AB . Die zur Kompression erforderlich gewesene mechanische Arbeit wird dargestellt durch die Fläche ABV_3V_1 , und zwar wird diese Arbeit L_1 verwandelt in die Wärmemenge $Q_1 = \frac{L_1}{424}$, weil eine Wärmeeinheit 424 mkg Arbeit verrichtet. Diese Wärmemenge wird vollständig durch die Cylinderwandungen an die Atmosphäre abgegeben.

Nimmt man nun an, dass sich die weitere Kompression der Luft nach der adiabatischen Kurve vollzieht (es ist klar, dass sich in der Praxis die Kompression und die Expansion weder genau nach der adiabatischen noch nach der isothermischen Linie vollziehen wegen des Einflusses der Temperatur der umgebenden Luft und anderer Umstände, weshalb die Annahme ein treffendes Bild giebt, dass der Prozess zum Theil nach der einen Art, zum Theil nach der anderen verläuft) bis zum Volumen V_3 und der Spannung p_3 , so wird die hierbei aufgewendete Arbeit L_2 ausgedrückt durch die Fläche BCV_3V_2 . Die Arbeit wird in die Wärmemenge Q_2 verwandelt, welche jedoch hierbei in der zusammengepressten Luft verbleibt, so dass ihre absolute Temperatur von T_1 auf T_2 gesteigert wird.

Man denke sich nun den Rücklauf des Kolbens und die Expansion in derselben Weise vor sich gehend wie früher die Kompression, nämlich in zwei Theilen, einmal isothermisch bei der höheren Temperatur T_2 während der Volumenvermehrung von C bis D , und dann adiabatisch von D nach A . Da bei der letzten adiabatischen Expansion genau dieselbe Wärmemenge in mechanische Arbeit verwandelt wird, die bei der Kompression von der Luft aufgenommen wurde, so sind auch die Flächen BCV_3V_2 und DAV_1V_4 gleich gross. Beide Aenderungen bei Expansion und Kompression heben sich daher auf und können für den Kreisprozess deshalb unberücksichtigt bleiben. Es bleiben uns also nur übrig die beiden isothermischen Wirkungen, die Kompression bei der niedrigen Temperatur T_1 und der Expansion bei der hohen Temperatur T_2 . Während dieser letzteren isothermischen Expansion muss der Luft im Cylinder von einem umgebenden Körper diejenige Wärmemenge Q_2 zugeführt werden, welche zur isothermen Expansion erforderlich ist, während die Luft den belasteten Kolben hebt. Der Arbeitswerth, welcher dieser Wärmemenge entspricht, wird ausgedrückt durch die Fläche CDV_4V_3 . Das würde also für unseren Zweck

diejenige Wärmemenge sein, welche in Kaltluftmaschinen dem Salzwasser, welches abgekühlt werden soll, entzogen wird.

Diejenige Wärmemenge dagegen, welche bei der Kompression von A nach B abgeführt wurde, und deren Arbeitsleistung der Fläche ABV_2V_1 entspricht, stellt für unseren Zweck die von dem Kühlwasser aufzunehmende vor.

Aus der mechanischen Wärmelehre folgt alsdann, dass sich diese Wärmemengen Q_2 und Q_1 wie die absoluten Temperaturen verhalten, und dass $Q_2 - Q_1 = Q$ die Wärme darstellt, welche in Arbeit während des Prozesses verwandelt wurde, d. h. die in unserem Falle bei der Kaltluftmaschine für den Kälteprozess verloren geht, d. h. die durch Reibungen, Wärmeverluste u. dergl. verschwindet.

Findet die Steigerung der Temperatur von B bis C z. B. von 20° C. bis 180° statt, so verhält sich $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{273 + 180}{273 + 20}$, woraus sich die Wärmemenge feststellen lässt, weil man Q_1 aus der Spannungsdifferenz auf dem Wege des Kolbens von A nach B berechnen kann.

In unserem Falle ist das Temperaturverhältniss bei Beginn und Schluss der Kompression $\frac{273 + 20}{273 + 180} = 0,640$, woraus nach Tabelle VII die entsprechende Endspannung 4,6 Atm. absolut folgt oder 3,6 kg Druck über die Atmosphäre pro Quadratcentimeter Kolbenfläche an gehobener Last, im Mittel rund zur Berechnung zu ziehen 1,8 kg. Dies multiplicirt mit dem Kolbenwege in der Zeiteinheit, der Sekunde, giebt die Arbeitsleistung pro Sekunde, welche wiederum durch 424 dividirt die Wärmemenge ergibt, welche aus obigen Ursachen verloren geht.

Es wird am Platze sein, hier klar zu machen, wie man in der Wissenschaft sich den Zusammenhang, die Gleichartigkeit von Arbeit und Wärme, denkt und wie man ihn erklärt.

Es wird angenommen, dass die Körpermoleküle niemals in vollkommener Ruhe, sondern in einem Zustande beständiger Bewegung sich befinden, deren Ursache die Wärme ist. Zunahme oder Abnahme der Wärme vermehrt oder verringert die Molekularbewegung der Körper; je wärmer also ein Körper ist, desto stärker ist die innere Bewegung seiner Moleküle. Es wird ferner angenommen, dass, je dichter der Körper ist, desto geringer ist der Zwischenraum zwischen den einzelnen Molekülen. Bei festen Körpern ist der Zwischenraum sehr klein und die gegenseitige Anziehungskraft der Moleküle so gross, dass Formveränderungen nur schwer vorgenommen werden, bei permanenten Gasen dagegen ist die Entfernung so gross, dass die Anziehungskraft der Moleküle eine freie Bewegung desselben gestattet, so dass die permanenten Gase eine grosse Elasticität besitzen. Je dichter das Gas wird, je mehr es nämlich zu-

sammengedrückt wird, desto mehr nähern sich bei gleicher Temperatur die Moleküle zu einander, desto stärker wird seine Spannung, desto geringer die innere Geschwindigkeit der Bewegung seiner Theile, weil die Anziehungskraft um so stärker einwirken kann.

Die Temperatur eines Gases hängt nach Vorstehendem ab von der Geschwindigkeit, mit der sich die Moleküle bewegen. Wenn aber die Dichtigkeit sich ändert, d. h. wenn die Geschwindigkeit der Bewegung der Moleküle grösser oder geringer wird, so drückt sich die geänderte Geschwindigkeit als grössere oder geringere Spannung aus, die gleichbedeutend mit äusserer Arbeit ist. Wird die Spannung vergrössert, so geht die dabei aufgewendete äussere Arbeit wieder in die Molekularbewegung über, d. h. in Wärme.

Hieraus folgen bestimmte Beziehungen zwischen Temperatur, Spannung und Volumen. Ferner werden erklärt die Vorgänge bei der Kompression und Expansion der Luft. Findet solche adiabatisch statt, so geht bei der Kompression die Bewegung des Kolbens an die Moleküle über, bei der Expansion von den Molekülen zum Kolben. Im ersteren Falle tritt daher eine Temperaturerhöhung der Luft in dem Cylinder ein, im letzteren Falle eine Temperaturabnahme, und zwar bildet die dem Kolben mitgetheilte oder von ihm ausgehende mechanische Arbeit das Maass der Zu- oder Abnahme der Wärme.

Bei der isothermischen Kompression muss so viel Wärme abgeführt werden, als mechanische Arbeit auf den Kolben wirkt, um die Luft bei derselben Temperatur zu erhalten, damit die Molekulargeschwindigkeit dieselbe bleibt, d. h. die in innere Arbeit umgewandelte äussere Arbeit wird der umgebenden Atmosphäre oder der Kühlflüssigkeit mitgetheilt, deren innere Arbeit, d. h. Wärme, sich dadurch erhöht. Bei der Expansion ist der Vorgang natürlich umgekehrt, indem die innere Arbeit des umgebenden Körpers durch Vermittelung der expandirenden Luft in äussere Arbeit des Kolbens übergeht.

Bei den Luftexpansionsmaschinen wird auf diese Weise die von dem Motor zur Kompression des Luftquantums aufgewendete mechanische Arbeit in Wärme umgewandelt. Da aber dann der komprimirten Luft durch das Kühlwasser ein erheblicher Theil Wärme entzogen wird, so muss, nach stattgefundener Expansion, die Luft eine niedrigere Temperatur haben als anfangs, und zwar entsprechend der entzogenen Wärme.

Die Versuche lehren, dass die Maschine im Stande ist, nach kurzem Arbeiten die Luft auf -40° bis -50° abzukühlen.

Da nun aber atmosphärische Luft stets mit Wasserdämpfen vermischt ist, und der Sättigungsgrad dieser von der Temperatur des Gemisches abhängt, so stellte sich beim Betriebe der Maschinen heraus, dass in den Ventilen und Cylindern sich Niederschläge in Form von feinen Schnee-

flocken absetzen, welche häufig die Veranlassung zu Betriebsstörungen gaben und der praktischen Ausbildung der Maschine viele Schwierigkeiten bereiteten. Inwieweit es später versucht und gelungen ist diesen Uebelstand zu beseitigen, wird weiter unten besprochen werden.

Hier soll nur der Einfluss betrachtet werden, welchen der Wassergehalt der Luft auf den Prozess in der Kaltluftmaschine ausüben kann.

Die atmosphärische Luft besteht aus einem Gemisch von Sauerstoff und Stickstoff mit einer geringen Menge gasförmiger Kohlensäure, also aus permanenten Gasen. Eingemischt findet sich etwas Wasserdampf, und zwar entspricht unter gewöhnlichem Atmosphärendruck jeder Temperatur ein bestimmter Sättigungsgrad. Die Spannkraft gesättigten Wasserdampfes, d. h. solchen Dampfes, der sich in Verbindung mit Wasser befindet, sich

Tabelle VIII, Verhältniss zwischen der Temperatur der Luft und deren Gehalt an Wasserdämpfen im Sättigungszustand.

Temperatur	Gewicht von 1000 Kubikmeter trockener Luft in Kilogramm	Gewicht der in 1000 Kubikmetern gesättigter Luft enthaltenen Wassermengen in Kilogramm	Druck des Wasserdampfes in Millimeter Quecksilber	Temperatur	Gewicht von 1000 Kubikmeter trockener Luft in Kilogramm	Gewicht der in 1000 Kubikmetern gesättigter Luft enthaltenen Wassermengen in Kilogramm	Druck des Wasserdampfes in Millimeter Quecksilber
— 20	1376,8	1,0	0,914	+ 10	1230,8	9,3	9,145
— 15	1350,2	1,6	1,394	+ 11	1226,5	10,0	9,771
— 14	1344,9	1,7	1,514	+ 12	1222,2	10,6	10,439
— 13	1339,8	1,8	1,643	+ 13	1218,0	11,3	11,146
— 12	1334,6	2,0	1,780	+ 14	1213,7	12,0	11,805
— 11	1329,5	2,1	1,933	+ 15	1209,5	12,8	12,688
— 10	1324,5	2,3	2,093	+ 16	1205,3	13,5	13,527
— 9	1319,5	2,5	2,273	+ 17	1201,2	14,4	14,415
— 8	1314,5	2,7	2,463	+ 18	1197,0	15,3	15,354
— 7	1309,5	2,9	2,668	+ 19	1192,9	16,2	16,347
— 6	1304,6	3,1	2,888	+ 20	1188,9	17,2	17,393
— 5	1300,0	3,4	3,123	+ 21	1184,8	18,2	18,500
— 4	1294,9	3,6	3,374	+ 22	1180,8	19,3	19,659
— 3	1290,1	3,9	3,643	+ 23	1176,8	20,4	20,898
— 2	1285,4	4,2	3,930	+ 24	1172,9	21,6	22,197
— 1	1280,6	4,5	4,236	+ 25	1168,9	22,9	23,566
0	1276,0	4,8	4,562	+ 26	1165,0	24,2	25,007
+ 1	1271,3	5,2	4,903	+ 27	1161,1	25,6	26,526
+ 2	1266,6	5,5	5,266	+ 28	1157,3	27,0	28,124
+ 3	1262,1	5,9	5,653	+ 29	1153,5	28,6	29,807
+ 4	1257,5	6,3	6,064	+ 30	1149,6	30,2	31,575
+ 5	1253,0	6,8	6,502				
+ 6	1248,4	7,2	6,968				
+ 7	1244,8	7,7	7,464				
+ 8	1239,6	8,2	7,990				
+ 9	1235,2	8,8	8,549				

Die Zahlen gelten für den Barometerstand 750 mm. Bei anderem Barometerstande sind sie entsprechend zu reduciren.

aus ihm entwickelt, ist abhängig von seiner Temperatur und wird grösser, je nachdem die Temperatur sich steigert. Gesättigter Wasserdampf in der Luft verhält sich genau so, als ob er in Verbindung mit flüssigem Wasser ist; im Grunde genommen ist er ja auch in der Luft stets in der Entwicklung begriffen. Die Spannung der Luft setzt sich stets zusammen aus der Spannung der oben benannten permanenten Gase und dem eingemischten Wasserdampf bei der entsprechenden Temperatur. Die Tabelle VIII stellt das Gewicht des gesättigten Wasserdampfes dar, welcher bei verschiedenen Temperaturen der Luft in derselben im Sättigungszustande gelöst ist.

Nur die in der Tabelle bezeichnete Menge Wasserdampf kann die Luft bei den bezeichneten Temperaturen in sich aufnehmen. Wird diese Menge überschritten, so kann das fernere Wasser nur als flüssiges Wasser erscheinen. Sobald die Temperatur der Luft sinkt, verwandelt sich so viel von ihrem Wasserdampf in flüssiges Wasser, als die Differenz der Wasserdampfmengen bei den beiden Temperaturen beträgt. Mit anderen Worten lässt sich ausdrücken, dass die Luft stets nur bis zu ihrem Sättigungsgrade Feuchtigkeit aufnehmen kann; der Punkt, an welchem die Luft in Folge Temperaturerniedrigung Wasser fallen lässt, heisst der Thaupunkt. Wenn Luft zusammengedrückt wird und gleiche Temperatur behält, so muss sie, weil sich das Volumen verringert, Wasserdämpfe fallen lassen. Wird aber, was bei der Kompression geschieht, die Luft erwärmt, so steigt ihre Fähigkeit, Wasserdämpfe in sich aufzunehmen. Diese Thatsache des Fallenlassens von Wasser und Wiederverdampfung bei gesteigerter Wärme hat für uns hier insofern besonderes Interesse, weil im ersteren Falle das Wasser Wärme freigibt, im letzteren absorbiert, und daher die Wirksamkeit der Kaltluftmaschine dadurch beeinflusst wird.

Nehmen wir unser früheres Beispiel an, in welchem wir ein gewisses Volumen Luft von $+20^{\circ}$ C. komprimirt bis zu 180° , d. h. bis etwa $4\frac{1}{2}$ Atm. absolutem Druck. Geht diese Kompression adiabatisch mit einem Kolben ohne Reibung vor sich, und wird der Luft dann gestattet, in derselben Weise wieder zu expandiren, so wird sie nach geschehener Expansion genau wieder in ihren Anfangszustand zurückgekehrt sein, und wird genau so viel Arbeit geleistet haben, als sie vorher bei der Kompression aufgenommen hat.

Der speciellere Vorgang in einer Kaltluftmaschine ist nun aber ein solcher, dass die durch die Kompression der Luft mitgetheilte Wärme mittels Kühlwasser abgeführt werden soll, möglichst auf die ursprüngliche Temperatur. Während der Expansion leistet sie aber Arbeit durch ihre Wirkung auf den Kolben und verliert daher an Temperatur so viel, als ihr zuvor durch die Kompressionsarbeit zugeführt worden ist. Nach geschehener Expansion wird sie daher um so viel weniger Wärme besitzen, als ihr während der Kompression durch das Kühlwasser entzogen worden war.

Eine Kaltluftmaschine muss, wie man sieht, bestehen aus einem Kompressionscylinder, einem Kühler und einem Expansionscylinder. Die Kolben beider Cylinder arbeiten auf die Kurbeln einer gemeinschaftlichen Welle, und die durch Reibung und sonstige Verluste verloren gehende Wirkung der Maschine muss ersetzt werden durch irgend einen Motor, z. B. eine Dampfmaschine. Der Vorgang in der Maschine ist dann ein solcher, wie an dem Carnot'schen Kreisprozess auseinandergesetzt wurde. Je besser die Kühlung gelingt, desto mehr wird sich die Wirkung der Maschine der isothermischen Linie nähern, nach welcher sich theoretisch, wie aus dem Kreisprozess hervorging, der Vorgang vollziehen soll.

Die Menge des zur Kühlung aufzuwendenden Kühlwassers im Verhältniss zu der komprimirten Luft steht natürlich im umgekehrten Verhältniss zu der specifischen Wärme der beiden Körper, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Wärmezunahme der Luft viel grösser sein darf, als die des Kühlwassers. Während die Temperatur der Luft in der Maschine um 100° bis 250° C. während der Kompression ansteigen kann, wächst im Allgemeinen die Wärme des Kühlwassers nur um 20° bis 25° C.

Betrachten wir das Verhalten des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes und seinen Einfluss auf die Wirkung der Maschine. Nehmen wir wie früher an, dass die Luft bei Eintritt in die Maschine -20° C. hatte, so enthält sie im Sättigungsgrade nach Tabelle VIII in jedem Kubikmeter 17,2 g Wasserdampf. Findet nun die Kompression der Luft bis zu 5 absoluten Atmosphären statt, so hat sich ihr Volumen auf $\frac{1}{5}$ des ursprünglichen verringert. Da aber nach dem Vorhergehenden bei derselben Temperatur (welche wir bei vollkommenem Prozess auch nach der Kompression noch haben sollen) sich die Aufnahmefähigkeit für Wasser nach dem Volumen richtet, so hat die Luft während der Kompression nur $\frac{1}{5}$ seines Wasserdampfgehaltes in Lösung behalten und $\frac{4}{5}$, oder auf den Kubikmeter $17,2 \times \frac{4}{5} = 13,76$ g, als flüssiges Wasser fallen lassen. Die grosse Wärmemenge, welche hierbei frei wird, muss gleichfalls durch das Kühlwasser aufgenommen werden, die sich auf den Kubikmeter der in der Maschine arbeitenden Luft berechnet zu $0,01376 \times 592$ (Verdampfungswärme) = 8,1 Calorien. Während der Expansion gefriert das Wasser im Expansionscylinder, wobei die frei werdende Wärme der expandirenden Luft mitgetheilt wird, was natürlich einen Leistungsverlust im Gefolge hat. Es muss nach Allem in Kaltluftmaschinen erstrebt werden, die Luft in der Maschine trocken zu halten. Um das zu erreichen, sind verschiedene Verfahren eingeschlagen worden, auf welche ich später zu sprechen komme. Auch wegen des schnellen Kolbenwechsels ist dies Wasser dem Cylinder sehr lästig und verursacht starke Stösse bei jedem Kolbenhub.

Arbeitsweise der Luftmaschine.

Wäre es möglich, diese Luftexpansionsmaschine vollkommen zu machen, so müsste genau diejenige Arbeit, welche zur Kompression der Luft von

dieser aufgenommen wird, bei der Expansion wieder abgegeben werden, so dass die Maschine nur Arbeit gebrauchte zum Transport der Luftmengen und des Kühlwassers und zur Ueberwindung der Reibungen in der Maschine.

Man könnte auf den ersten Blick meinen, dass solchergestalt diese Expansionsmaschinen bei weitem vortheilhafter arbeiten müssten, als die Verdampfungsmaschinen, bei welchen die Verdampfungsflüssigkeiten erst als Mittelglied dienen. Wenigstens könnte man annehmen, dass dort, wo es sich um Abkühlung von Räumen handelt, wo also die in der Maschine abgekühlte Luft direkt zur Abkühlung der Räume verwendet werden kann, es keine vortheilhaftere Maschine geben kann.

Vorzugsweise drängt sich der Gedanke auf, sagt Linde, dass die direkte Abkühlung von Räumen, z. B. von Gärkellern, durch solche Maschinen unschwer zu erreichen sein müsse.

„Und thatsächlich ist es lediglich der Kostenpunkt, welcher der allgemeinen Einführung dieses Systemes hinderlich ist. Die geringe Wärmemenge, welche ein selbst erhebliches Luftvolumen aufzunehmen vermag, bedingt nämlich Dimensionen und Arbeitsverluste von ausserordentlicher Grösse.

Dies mag aus folgendem Beispiele erhellen: Es werde einem Gärkeller, dessen Temperatur auf 4° zu erhalten ist, Luft von -10° zugeführt. Welche Luftmenge ist nöthig, um dieselbe Wärmemenge zu binden, welche beim Schmelzen eines Centner Eises gebunden wird? Etwas mehr als 1000 cbm. Bläst man Luft von -30° ein, so sind noch 420 cbm erforderlich. Schon hieraus ist zu erkennen, welche Luftquantitäten nöthig sein werden, um einen Gärkeller von irgend welchem Umfange auf niedriger Temperatur zu erhalten. Ich habe verschiedene Erhebungen gepflogen, um die Anhaltspunkte zur Berechnung der in einem Gärkeller von bestimmter Grösse erforderliche Luftmenge zu erhalten. Aus den vielen verschiedenen Angaben ergiebt sich der Eisbedarf für jeden in der wärmeren Jahreszeit zur Gärung gelangenden Hektoliter Bier zu 25 bis 35 kg für den Fall, dass die Abkühlung lediglich durch Eisschwimmer herbeigeführt wird. Es ist klar, dass, wenn gleichzeitig die Lufttemperatur im Gärkeller selbst, und erst durch Vermittelung derselben die gährende Flüssigkeit, kühl erhalten werden soll, eine viel grössere Wärmemenge gebunden werden muss, also eine viel grössere Kältemenge erforderlich ist. Denn in diesem Falle muss die Lufttemperatur im Gärkeller eine niedrigere sein, als bei Anwendung von Schwimmern. Die Wärmemenge aber, welche von aussen in den Gärkeller transportirt wird, ist der Differenz der äusseren und der inneren Temperatur proportional. Es muss also die durch das Eis in den Schwimmern repräsentirte Kältemenge als das erforderliche Minimum betrachtet werden. Immerhin stellt schon das

Aequivalent dieses Eisverbrauchs in den Schwimmern 200 bis 300 cbm kalte Luft von -30° pro Hektoliter dar.

Man denke sich nun einen mit Eis gefüllten Kasten frei in dem abzukühlenden Raume aufgestellt und durch diesen Kasten einen Luftstrom geleitet, so ist klar, dass die ganze Wärmemenge, welche das Eis beim Schmelzen bindet, der den abzukühlenden Raum ausfüllenden Luft entzogen wird, und es wird doch nicht bestritten werden wollen, dass durch jedes schmelzende Kilogramm Eis ca. 266 cbm Luft um 1° C. oder ca. 53 cbm um 5° C. u. s. w. abgekühlt werden müssen, da 1 kg Eis beim Schmelzen ca. 80 W.E., 1 cbm Luft bei Erwärmung um 1° C. aber ca. 0,3 W.E. bindet. Wird der Luftstrom durch natürliche Circulation unterhalten, wie in Gähr- und Lagerkellern, so wird hieran natürlich nichts geändert.

Wenn durch die geringe Wärmekapazität der Luft relativ sehr grosse und darum kostspielige Maschinen bedingt sind, so resultiren gleichzeitig Arbeitsverluste, welche die Nutzleistung um Vielfaches übersteigen. Bei Luft von -10° sind, wie vorhin erwähnt, ca. 1000 cbm als Aequivalent eines Centner Eises zu betrachten. Ein Kolben von 1 qm Querschnitt, d. i. von 1,13 m Durchmesser, muss also einen Weg von 2000 m durchlaufen, um das Aequivalent eines Centner Eises zu erhalten. Die blossen Reibungswiderstände in einer Maschine nun, welche stündlich diese Luftmenge abzukühlen hat, absorbiren (wenn dieselben den Erfahrungen an anderen ähnlichen Maschinen zufolge möglichst niedrig gegriffen zu $\frac{1}{10}$ Atm. auf den Kolben bezogen veranschlagt werden) nicht weniger als etwa 7 Pferdestärken, wozu also mindestens 10,5 kg bester Kohlen verbrannt werden müssen, während der theoretische Konsum für die Herstellung eines Centner Eises im Ganzen nur etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ kg ausmacht. Wird Luft von -30° hergestellt, so sinkt die Arbeit, welche dem Leergang der Maschine entspricht, auf etwa 3 Pferdestärken und der korrespondirende Kohlenverbrauch auf etwa 4,5 kg, d. i., auch dann noch ist die blossen Reibungsarbeit mindestens neunmal grösser, als die ganze theoretische Existenz an Betriebskraft. Daraus geht hervor, wie der Konstrukteur solcher Luftexpansionsmaschinen geradezu gezwungen ist, mit der unteren Temperatur sehr weit herunterzugehen, um die Dimensionen und Arbeitsverluste nicht zu sehr wachsen zu lassen. Durch das Auseinanderrücken der Temperaturen aber wird von vorne herein auf einen hohen Wirkungsgrad verzichtet.

Zu diesen Schwierigkeiten tritt noch hinzu, dass die geringe Wärmeleitfähigkeit der Luft die Abkühlung derselben während der Kompression fast unmöglich, nach der Kompression nur durch ausserordentlich grosse Kühlflächen erreichbar macht, wodurch weitere Unvollkommenheiten des Prozesses herbeigeführt werden, da die erforderliche Betriebskraft in

dem Maasse wächst, in welchem während des Processes die Lufttemperatur über diejenige des Kühlwassers hinausgeht.

Damit sind die wesentlichen Ursachen des niedrigen Wirkungsgrades hervorgehoben, welchen diese Maschinen bis jetzt liefern. Es ist keineswegs unmöglich, dass in Zukunft für die Kompression und Expansion andere mechanische Mittel gefunden werden, als ein in einem Cylinder sich bewegender luftdicht schliessender, durch eine Kurbel bewegter Kolben, Mittel, welche nicht die grosse Reibungsarbeit im Gefolge haben, wie dieselbe gegenwärtig den hauptsächlichlichen Antheil an der erforderlichen Betriebskraft hat.“

Es existirt ein vorzügliches Buch von Mr. R. E. de Marchena-Machines frigorifiques à air. — Paris. G. Masson, éditeur, in welchem in streng wissenschaftlicher Art die Theorie der mit Luft arbeitenden Kältemaschine durchgeführt ist. Auf dieses Werk sei hier verwiesen für diejenigen Leser, die sich in den Gegenstand hineinstudiren wollen. Herr Marchena kommt zu folgenden Schlüssen:

„Aus den entwickelten Rechnungen ist zu schliessen, dass man nicht erwarten kann mit den mit Luft arbeitenden Kältemaschinen einen günstigen Erfolg zu erzielen. Man erhält im Maximum kaum 12 bis 15 Proc. des Resultats nach dem Carnot'schen Kreisprozesse. Man muss auch wegen der geringen Wärmemenge, welche die Luft überhaupt aufnehmen kann, beträchtliche Mengen Luft in der Maschine circuliren lassen. Wegen der grossen Proportionen der Maschine hat man mit beträchtlichen passiven Widerständen und verschiedenen anderen Verlusten zu thun, die einen enormen schädlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Maschine ausüben. Auch, um einigermaassen einen Erfolg zu erzielen und die Luftmaschinen in gutem Betriebe zu erhalten, sind sie mit grosser Sorgfalt zu behandeln. Der Expansionsgrad und die Rotationsgeschwindigkeit müssen ohne Uebertreibungen sorgsam abgewogen werden, und sind nicht zu hoch und nicht zu niedrig zu wählen. Im Allgemeinen kann man die Geschwindigkeit grösser nehmen bei Maschinen mit zwangläufiger Steuerung, als mit automatisch wirkenden Ventilen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass der höchste Wirkungsgrad vorhanden ist bei einer Kolben-Geschwindigkeit von 1,50 bis 2 m pro Sekunde bei grossen Maschinen. Bei diesen ist zwangläufige Steuerung trotz der complicirten und kostspieligeren Ausführung den automatisch wirkenden Ventilen vorzuziehen. Es ist auch vorthellhaft einen Luftkühler anzuwenden, um den Wasserdampf der Luft auf ein möglichstes Minimum beim Eintritt der Luft in den Expansionscylinder zu reduciren.

Wenn die Verhältnisse es erlauben, thut man gut die Kompression in zwei Cylindern hinter einander vorzunehmen, und die Luft in zwei Intervallen abzukühlen.

Bei allergünstigsten Bedingungen können dann grosse Kühlmaschinen im Mittel 400 bis 500 W. E. an Kälteleistung pro effektive Pferdekraft erzeugen, d. i. 350 bis 450 W. E. pro indicirte Pferdekraft.“

Leistung
der Lu/
maschin

Aus Vorstehendem mag sich erklären, warum die mit so grossen Hoffnungen ins Leben getretenen Luftexpansionsmaschinen jetzt fast ganz verschwunden sind. Soweit sie sich erhalten haben, werde ich sie später besprechen, ebenso, wie ich auch später speciellere Beschreibungen der Maschine selbst bringen werde.

Systematischer Unterschied der Verdampfungsmaschinen.

Gehen wir über zur Erörterung über den Unterschied zwischen den beiden Hauptsystemen von Verdampfungsmaschinen, denjenigen mit Absorptionsapparat und denjenigen mit Kompressionspumpe.

Die wichtigsten Verdampfungsmaschinen, die auch die grösste Verbreitung gefunden haben, sind die Ammoniakmaschinen, theils, wie schon hervorgehoben, wegen des tief liegenden Siedepunkts, theils wegen der grossen latenten Wärme des flüchtigen Ammoniaks. Für Absorptionsmaschinen eignet sich dieses noch besonders wegen seiner grossen Absorptionsfähigkeit in Wasser.

Abgesehen von Wasser ist Ammoniak das einzige Medium, welches in reinen Absorptionsmaschinen zur Verwendung gekommen ist.

Um den systematischen Unterschied der beiden Arten Verdampfungsmaschinen klar zu machen, wiederhole ich, dass die mechanische Kälterzeugung bei beiden darauf beruht, dass man die angewandten Dämpfe in einen Zustand bringt, in welchem sie den umgebenden Körpern Wärme entziehen, sie abkühlen. Dies geschieht dadurch, dass man sie flüssig macht, um sie dann wieder verdampfen zu lassen. Die Verdampfungswärme, welche beim Uebergang aus dem flüssigen in den dampfartigen Zustand gebunden wird, wird dem umgebenden Körper für diesen Zweck entzogen; in ihm wird daher der Kältezustand erregt. Die Maschinen werden wegen dieser Benutzung jetzt allgemein Kaltdampfmaschinen genannt, im Gegensatz zu den Kaltluftmaschinen.

In den Kaltdampfmaschinen wird ein werthvolles Medium zur Kälterzeugung benutzt, und deshalb ist es, um Verluste zu vermeiden, nöthig einen Kreisprozess in den Maschinen hervorzurufen, durch welchen die stets erneute Benutzung des Mediums in der Maschine ohne Verluste ermöglicht wird.

In den Kompressionsmaschinen, die mit Ammoniak arbeiten, wurde früher der Ammoniakdampf mittels eines kleinen Destillationsapparats aus

flüssigem Salmiakgeist in die Verdampferspirale hinüber destillirt und dient zur Füllung der Maschine, jetzt wird nur noch flüssiges, wasserfreies Ammoniak eingefüllt.

eis-
ess der
ypen-
ions-
shine.

Die Maschine selbst besteht aus einer doppelwirkenden Kompressionspumpe, in welcher der Ammoniakdampf sehr stark komprimirt wird, auf 8 bis 12 Atmosphären bei $+ 20^{\circ}$ bis $+ 32^{\circ}$ C., und dann in den Kondensator hinüber gelassen wird. Der Kondensator besteht aus kräftigen schmiedeeisernen Rohrspiralen oder Rohrbündeln, welche von Kühlwasser umgeben sind. Durch die vereinigte Wirkung der Kompression und der Kühlung durch das Kühlwasser wird der Ammoniakdampf in den flüssigen Zustand übergeführt, unter Abgabe der frei werdenden latenten Wärme an das Kühlwasser. Letzteres dient ausserdem zur Erniedrigung der messbaren Temperatur des flüssigen Ammoniaks. Das im Kondensator flüssig gewordene Ammoniak wird durch ein Regulirventil in Verbindung mit dem Verdampfer gebracht, der aus einem ganz gleichen Rohrspiralen- oder Rohrbündel-System besteht wie der Kondensator. Hier verdampft das Ammoniak und entnimmt die erforderliche latente Wärme aus der umgebenden Flüssigkeit, welche abgekühlt werden soll. Von hier aus saugt die Kompressionspumpe, auch einfach Kompressor genannt, das zu seiner Füllung nöthige Quantum Ammoniakdampf an, um es von Neuem zu komprimiren. Auf diese Weise schliesst sich der Kreisprozess, von welchem bei jedem Kolbenhub sich einer vollendet.

eis-
ess der
korp-
ms-
hinen.

Der Kreisprozess der Ammoniak-Absorptionsmaschinen ist complicirter. Die Kompression der Ammoniakdämpfe, welche vorstehend durch eine Druckpumpe bewirkt wurde, geschieht hier in einem geschlossenen Kessel, der durch Feuer oder durch Dampf geheizt wird. In demselben befindet sich die Ammoniaklösung (Salmiakgeist), aus welcher durch Erhitzung bis mindestens 130° C. das Ammoniak unter einer Spannung von mindestens 9 Atmosphären ausgetrieben wird. Wasser verdampft bei dieser Temperatur noch nicht, denn dessen Siedepunkt liegt bei 9 Atmosphären Spannung bei 177° C. Die gespannten Ammoniakdämpfe treten nun ganz wie bei den Kompressionsmaschinen in den Kondensator über, wobei die Menge der überzuleitenden Ammoniakdämpfe durch einen Hahn regulirt wird, und zwar derart, dass sich die Spannung im Kondensator unverändert erhält. Im Kondensator kondensiren dann genau wie bei den beschriebenen Kompressionsmaschinen unter vereinigter Wirkung von Abkühlung und Druck die Ammoniakdämpfe zur Flüssigkeit, welche ebenfalls genau wie bei den Kompressionsmaschinen in den Verdampfer übergeleitet werden, wo sie verdampfen und die umgebende Flüssigkeit abkühlen, ebenso wie bei jenen Maschinen.

Während nun durch Ansaugung resp. Uebertritt die Dämpfe bei den Kompressionsmaschinen in die Pumpe gelangen, wodurch sich der Kreis-

prozess bei denselben schliesst, wird bei Absorptionsmaschinen die Ueberführung des Ammoniaks in den Destillationskessel auf Umwegen geleitet, weil die Dämpfe nicht einfach hineingeleitet werden können. Dieser Umweg besteht darin, dass man in dem sogenannten Absorptionsgefäss die Dämpfe mit Wasser zusammenführt, von welchem sie aufgesaugt, absorbiert werden. Durch die Absorption findet in Folge Ueberganges der Ammoniakdämpfe in flüssige Form starke Wärmeentwicklung statt (Freiwerden der latenten Wärme), welche durch Abkühlung mittels Kühlwasser abgeführt werden muss, weil die Absorption selbst bei niedriger Temperatur (25°C .) geschehen muss, um vortheilhaft zu arbeiten.

Da in dem zuerst genannten Destillationskessel, aus welchem die Ammoniakdämpfe mit 9 Atmosphären Spannung entwickelt wurden, in der Lösung noch immer ein erhebliches Quantum Ammoniak zurückbleibt, so wird diese theilweise erschöpfte Lösung als Absorptionsflüssigkeit benutzt, und aus dem Destillationskessel in das Absorptionsgefäss geleitet. Da aber die erschöpfte Lösung mindestens 130°C . warm ist, die Absorption aber nicht über 25° stattfinden soll, so muss auch die Lösung auf ihrem Wege nach dem Absorptionsgefässe durch Kühlwasser abgekühlt werden. Die dann absorbirte gekühlte Ammoniaklösung von 25°C . wird nun mittels einer kleinen Pumpe in den Destillationskessel gedrückt. Da sie aber dort behufs Destillation stark erhitzt werden muss, so wird sie der erschöpften, in den Absorptionsapparat fliessenden Lösung entgegengeführt, um vorgewärmt zu werden und jene gleichzeitig abzukühlen. Auf diese Weise schliesst sich denn auch hier der Kreisprozess; aber es leuchtet leicht ein, wie viel ungünstiger die Absorptionsmaschinen arbeiten, als die Kompressionsmaschinen.

Sie arbeiten zwar nur mit einer kleinen Pumpe, welche die kalte absorbirte flüssige Lösung in den Destillationskessel befördert, während sie bei den Kompressionsmaschinen zum Komprimiren von Dämpfen dient und daher grösser sein muss. Aber im Destillationskessel wird die Kompression resp. Ueberdestillation mittels direkten Dampfes bewirkt, statt dort mittels Kraft, und das würde theoretisch denselben Wärmeaufwand bedeuten, wenn nicht im Destillationskessel auch die ganze wässrige Lösung mit auf 130°C . erwärmt werden müsste, was allerdings in Gegenströmung mit der zurückkehrenden reichen Lösung im Wechsler zum Theil wiedergewonnen wird, wenigstens bei guten Maschinen. Die Erwärmung ist aber nicht nur nicht von Nutzen, sondern sogar schädlich für den sonst beabsichtigten Zweck, weil sie zur Abkühlung wieder Kühlwasser erfordert. Während bei den Kompressionsmaschinen nur im Kondensator Kühlwasser gebraucht wird, ist bei den Absorptionsmaschinen ausserdem noch Kühlwasser nöthig zur Kühlung bei der Absorption und zur Kühlung der erschöpften Lösung.

Die Absorptionsmaschinen sind daher nur da anwendbar, wo reichlich Kühlwasser vorhanden ist. Weil aber die Absorption bei verhältnissmässig niedriger Temperatur (25°C.) erfolgen soll, so muss in warmen Ländern ein reichliches Wasserquantum aufgewendet werden, weil das Wasser dort ziemlich warm zu sein pflegt. Bei höheren Graden wird aber keine genügende Absorption erzielt, und so kommt es, dass in warmen Ländern trotz starkem Wassergebrauch die Leistung der Absorptionsmaschinen stark vermindert wird, und unter Umständen fast zu Null herabsinken kann.

Auch die Ausnutzung des Dampfverbrauchs stellt sich zu Ungunsten der Absorptionsmaschinen, weil nur seine Wärme über 130° (oder 150°C. , wenn die Destillation mit höheren Spannungen vorgenommen wird) zur Benutzung gelangt, während bei Kompressionsmaschinen, wenn gute Betriebsdampfmaschinen angewendet werden, der Dampf bessere Ausnutzung durch seine Expansionswirkung erfährt.

Unter gewöhnlichen Temperatur- und Druckverhältnissen, d. h. in der Atmosphäre, wird Ammoniak von Wasser im Verhältniss von 10 zu 3 absorbiert, d. h. es sind 100 kg oder Liter Wasser im Stande etwa 30 kg Ammoniak durch Absorption in sich aufzunehmen. Die Erbauer der Ammoniak-Absorptionsmaschinen geben an, dass in ihren Maschinen das Ammoniak absorbiert wird bis zu einem Sättigungsgrad von 30° Baumé, was obigem Verhältniss entspricht. Es ist der Hauptübelstand der Absorptionsmaschinen, dass das dreifache Quantum Wasser mit erhitzt werden muss, während für den Prozess doch nur das einfache Quantum Ammoniak erforderlich ist. Würde nun die Wirkung in dem Vorwärmer in der That so vollkommen sein, dass alle in dem Destillationskessel bei der Verdampfung der Flüssigkeit zugeführte Wärme, abzüglich natürlich derjenigen, welche zur Verdampfung des Ammoniaks aufgewendet wird und in den reinen Ammoniakdämpfen bleibt, auch wirklich im Vorwärmer an die starke aus dem Absorptionsgefäss kommende Flüssigkeit wieder abgegeben wird, so würden weiter keine Wärmeverluste sein, als die aus Strahlung und Leitung folgenden. Aber die Nutzbarmachung der Wärme in dem Vorwärmer ist doch in der Praxis nur eine sehr unvollkommene, weil, immer abgesehen von den durch Strahlung und Leitung erfolgenden Wärmeverlusten, die Vorwärmung immer nur bis zu einer zwischen der Temperatur der eintretenden und der austretenden Flüssigkeit liegenden Wärme stattfinden kann, woraus ein sehr erheblicher Verlust entsteht. Ferner werden bei der Destillation in den Carré'schen Maschinen mit den Ammoniakdämpfen stets 25 Proc. an Wasserdämpfen mitgerissen, deren aufgenommene Wärme ebenfalls verloren für den Zweck der Maschine ist. Beiden Verdampfungssystemen gemeinsam ist der Wärmeverlust in Verdampfer und Kondensator. In dem Verdampfer soll das Ammoniak während

der Verdampfung genau diejenige Menge Wärme aufnehmen, welche es während seiner Abkühlung und Flüssigmachung im Kondensator abgegeben hat, weniger der aus der Druckdifferenz und der Temperaturdifferenz des Dampfes beim Eintritt in den Kondensator und dem Austritt aus dem Verdampfer.

Dem Absorptionssystem fällt dagegen wieder allein aufs Conto der Wärmeverlust, welcher dadurch entsteht, dass bei der Absorption der Dämpfe im Absorptionsgefäss die im Verdampfer dem Ammoniakdampf zugeführte Wärme an das Kühlwasser abgegeben wird, natürlich abgesehen von geringen Korrekturen, die wegen Druck- und Temperaturdifferenzen zu machen sind. Aber selbst angenommen, dass diejenige Wärmemenge, welche der Dampf im Destillationskessel aufgenommen hat, zuzüglich derjenigen, die durch Verdampfen des Ammoniaks im Refrigerator in die Dämpfe übergeht, genau gleich wäre der Wärmemenge, welche durch das Kühlwasser im Kondensator und im Absorptionsgefäss abgeführt wird, so würden immer folgende Verlustquellen übrig bleiben: Mangelhafte Wärmeausnutzung im Vorwärmer, Verlust durch Strahlung und Leitung von allen Gefässen, welche über der Luftwärme bleiben, nutzlose Verdampfungswärme des mitgerissenen Wassers, endlich Wärmeaufnahme von aussen der unter der Lufttemperatur sich befindenden Gefässe.

Dem gegenüber ist es klar, dass das Kompressionssystem viel vortheilhafter arbeiten muss, weil der Ammoniakdampf direkt aus dem Verdampfer in die Pumpe behufs Kondensirung übergeführt wird, während das Absorptionssystem in jedem Kreisprozess zweimalige Kondensirung des Ammoniaks erfordert, nämlich einmal gleichfalls im Kondensator, das andere Mal im Absorptionsgefäss.

Dass dadurch eine so viel grössere Menge Kühlwasser gebraucht wird, ist schon hervorgehoben.

Es existiren Maschinen, bei welchen die Kompression und Absorption gemeinschaftliche Anwendung finden, durch Benutzung einer Mischung zweier Flüssigkeiten von verschiedener Flüchtigkeit. In einem der früheren Kapitel sind solche Maschinen schon erwähnt. Es liegt auf der Hand, dass die ökonomische Leistung derselben zwischen den Leistungen der beiden Systeme liegen muss. Gegenüber dem Kompressionssystem wird sowohl der Wärmeaufwand, wie der Kühlwasserverbrauch grösser. Der Grund, weshalb dazu übergegangen wurde in den einzelnen Fällen, ist in der hohen Spannung des Ammoniaks in den Kompressionsmaschinen zu suchen, obwohl man zugeben muss, dass sich bei gut gearbeiteten Kompressionsmaschinen Uebelstände nicht gezeigt haben, die nicht hätten überwunden werden können. Die Maschinen sind ganz wie Kompressionsmaschinen konstruirt, in dem Verdampfer verdampfen beide Flüssigkeiten, während im Kondensator die eine zuerst flüssig wird und dann die andere

Kombinir
Verdamp-
ungs-
maschine

absorbirt. Motay & Rossi wenden, wie früher schon erwähnt, schweflige Säure und irgend eine schwer verdampfende Flüssigkeit an. Es soll immer nöthig sein, dass der Siedepunkt der absorbirenden Flüssigkeit über dem des Wassers liegt, der Dampf der schwefligen Säure soll aber bei niedrigen Temperaturen kondensirt werden, bei 3 bis höchstens 10°C., um die Spannung im Kondensator herabzumindern, die dann statt 2,8 bis 4,2 Atmosphären herabsinkt auf 1,4 bis 1,7 Atmosphären. Allerdings kann dann nicht mehr Wasser zur Kühlung angewendet werden, sondern etwa flüchtiger Aether, Schwefelkohlenstoff, Gasolin, Stoffe die noch unter 16°, der Wärme der bei dem angeführten Drucke verdampfenden schwefligen Säure, verdampfen. Die Dämpfe dieser Kühlflüssigkeiten sind leicht niederzuschlagen. Als Absorptionsflüssigkeit wird in erster Reihe Oxalsäure vorgeschlagen, die bei +184° verdampft und 48 Proc. Absorptionsfähigkeit für schweflige Säure besitzt und andere. Zu diesen Vorschlägen gelangten Motay & Rossi lediglich aus dem Grunde, um mit niedriger Spannung in der Maschine zu arbeiten. Offenbar aber ist die Spannung von 4 Atmosphären, die ja auch in jeder Dampfmaschine vorhanden, keine zu hohe, und kann daher ohne Schaden sowohl mit anderen Absorptions-Flüssigkeiten, als den schwer siedenden, als auch ohne jene leicht siedenden Kühlflüssigkeiten gearbeitet werden.

Davon geht auch Raoul Pictet bei seiner Mischung aus. Ihm kommt es darauf an, eine Mischung zu finden, deren Spannung unterhalb derjenigen des Ammoniaks bei den im Kondensator unter Anwendung von Wasser als Kühlflüssigkeit nöthigen Temperaturen liegt, dessen Verdampfungsdruck aber im Verdampfer bei der entsprechenden Temperatur in der Nähe der Atmosphäre liegt, damit die Stopfbüchsen leicht dicht zu halten sind. Pictet gab an, ganz besonders günstige Erfolge mit seiner Flüssigkeitsmischung erlangt zu haben. Indessen fanden sich seine Angaben nicht anderweitig bestätigt; ich bespreche diesen Gegenstand nochmals an anderer Stelle, will nur hier bemerken, dass seine Mischung aus Kohlensäure und wasserfreier schwefliger Säure besteht.

Insofern die Vacuum-Kältemaschinen ohne Absorption der Dämpfe nicht arbeiten können, sind sie gleichfalls zu Absorptionsmaschinen zu rechnen und mögen daher hier kurz besprochen werden.

Die bisher in diesem Kapitel behandelten Verdampfungsmaschinen entziehen die Wärme in erster Reihe einem Medium, der Salzlösung, welches erst direkt zur Abkühlung oder Eiserzeugung dient. Nur im Falle es sich um Abkühlung von Wasser handelt, ist die Wirkung der Verdampfungsmaschine direkt und in Fällen, wo die Röhren des Verdampfers unmittelbar in den Räumen liegen, welche sich abkühlen sollen, wie es zum Theil in Amerika geschieht. Wenn dagegen in Vacuummaschinen die Eisbildung direkt in grossen Gefässen geschieht, wo das

Einspritzwasser sofort zum Gefrieren gebracht wird, ist eine vortheilhaftere Wirkung, als in den Kompressionsmaschinen wohl denkbar. Allerdings besitzt das erzeugte Eis so geringe Dichtigkeit, dass es für die Praxis kaum verwendbar ist. Sobald festeres Eis gewonnen werden soll, oder behufs Abkühlung von Wasser oder Luft zuvor eine Salzlösung gekühlt werden muss, so treten dieselben Verluste durch Benutzung des Mediums ein. Bleiben wir jedoch bei unserer Erörterung, bei der direkten Eiserzeugung, so stellen sich gegenüber der Berechnung auf Seite 24 folgende Verluste ein:

Bei der Verdampfung ist es nicht möglich reine Dämpfe zu erzeugen, dieselben werden stets mit mitgerissenem Wasser vermischt sein, ferner muss stets das zu verdampfende Wasser von der Eintrittswärme, ca. 15° , ohne Nutzen auf 0° abgekühlt werden, denn dasselbe verlässt mit dieser Temperatur die Luftpumpe, schliesslich ist ein grosses Quantum Brennmaterial nöthig zur Wiederverdampfung der von der Schwefelsäure absorbirten Wasserdämpfe, wobei auch die Schwefelsäure mit erhitzt werden muss ohne Nutzen für den Prozess. An Kühlwasser wird kaum weniger gebraucht, als in anderen Systemen, das Verwendung findet zur Abkühlung der in Absorption begriffenen Flüssigkeit, Schwefelsäure und Wasser. Es muss auch hier dieselbe Wärmemenge an das Kühlwasser abgegeben werden, welche das Wasser bei der Verdampfung aus dem gebildeten Eise aufgenommen hat, und ausserdem die der Schwefelsäure bei der Verdampfung des Wassers mitgetheilte Wärme. Es liegen über den Wärmearaufwand genaue Versuche nicht vor, wenigstens nicht so zuverlässige, dass ein bestimmtes Urtheil über die ökonomische Leistung ausgesprochen werden könnte. Gegenüber Kompressionsmaschinen gebraucht die Luftpumpe, ohne Berücksichtigung der Reibungsverluste, allerdings weniger Kraft als die Kompressionspumpe, aber die Eindampfung der verdünnten Schwefelsäure erfordert einen erheblichen Wärmearaufwand, der bei Kompressionsmaschinen gänzlich fehlt.

Theorie der Verdampfungsmaschinen.

Eine eigentliche Theorie der Absorptionsmaschinen hat es bisher nicht gegeben. Es ist ein solcher Versuch zur Leistung von Ammoniak-Absorptionsmaschinen durch A. Belani in Graz-Andritz gemacht worden (siehe Zeitschrift Deutscher Ingenieure 1892 Seite 711 fg.). Er macht seine Berechnungen an der gewöhnlichen Carré'schen Maschine und an der durch gut durchgeführte Gegenströmung wesentlich verbesserten Habermann'schen Absorptionsmaschine. Wer Interesse dafür hat, mag die Arbeit dort nachlesen.

R. Habermann hat bei seinen Maschinen sowohl den Kocher, als den Absorber, statt aus je einem einzigen Gefässe, aus 3 bis 4 über einander

liegenden 250 bis 400 mm weiten Röhren hergestellt, die mit einander durch ein Leitungsrohr verbunden sind, und von denen jedes gewissermassen einen kleinen Kocher oder Absorber für sich bildet. Die Anordnung ist so, dass aus dem untersten Rohr des Absorbers die reiche Lösung nach dem obersten Rohr des Kochers, natürlich nach dem Durchstreichen der Ausgleicher, geführt wird, von wo sie durch Ueberlaufrohre in die unteren Rohre der Reihe nach gelangt. Es findet in jedem Rohre Verdampfung statt, und daher wird der Gehalt der Lösung nach den unteren Rohren stetig abnehmen, so dass die schwächste Lösung im untersten Kocherrohre ist. Ebenso geht es im Absorber zu, wohinein aus dem untersten Kocherrohre die schwache Lösung in das oberste Absorberrohr eintritt, wo es einen Theil des aus dem Verdampfer kommenden Ammoniakdampfes absorbiren wird. Beim Abfall in die unteren Rohre wird die Lösung durch ebenfalls zugeführten Ammoniakdampf aus dem Verdampfer nach und nach vollkommen gesättigt. Der Heizdampf im Kocher tritt zuerst in das untere Rohr mit der schwachen Lösung ein, und dann erst in die oberen. Ebenso wird es mit dem Kühlwasser im Absorber gehalten. Das kälteste Kühlwasser kühlt im untersten Rohre die gesättigte, die wärmste im oberen Rohre die arme Lösung.

Durch diese Anordnung und die Möglichkeit, die Lösung im Kocher so weit entgasen zu können, wie es faktisch geschieht, wird das Lösungswasser, das bei den gewöhnlichen Carré'schen Absorptionsmaschinen das 15 bis 16fache des gelösten Ammoniaks beträgt, auf das 3 bis 4fache herabgedrückt. Demzufolge kann der Dampf- und Kühlwasserverbrauch bis zu $\frac{1}{3}$ der gewöhnlichen Absorptionsmaschine herabsinken.

Belani kommt dann zu folgenden Resultaten:

Die Habermann'sche Gegenstrom-Ammoniak-Absorptionsmaschine leistet theoretisch mit 1 kg Wasserdampf **343,49** W. E. an Kälteerzeugung und gebraucht dazu **39** l Kühlwasser, d. h. pro **100** W. E. Kälteerzeugung **11,4** l Kühlwasser. — Die Carré'sche Maschine leistet dagegen pro 1 kg Wasserdampf nur **82,61** W. E. an Kälteerzeugung und gebraucht dazu **26,4** l Kühlwasser, d. h. pro **100** W. E. Kälteerzeugung dagegen **32** l Kühlwasser. Bei der Belani'schen Berechnung stellen die Resultate eigentlich diejenigen von theoretisch vollkommenen Maschinen der beiden Absorptionssysteme dar, weil in beiden Fällen die günstigsten erreichbaren Verhältnisse angenommen sind.

Es wird sich bei der nachfolgenden Berechnung der theoretisch vollkommenen Kompressionsmaschinen herausstellen, wie sehr sie der Absorptionsmaschine auch theoretisch voraus ist. Der Grund liegt etwa darin, dass, während bei den Absorptionsmaschinen das Ammoniak etwa bei 127° mit 10,6 Atm. verdampft wird, die Wärme des Wasserdampfes von etwa 130° an verloren geht, selbst wenn angenommen wird,

dass die gebundene Wärme desselben voll zur Benutzung gelangt, was doch durchaus noch nicht festgestellt ist, auch nicht durch die Belani'sche Berechnung. Es kann nicht bezweifelt werden, dass ein Theil des Wasserdampfes in Folge der Wärmeabgabe kondensirt, schwerlich aber, wie von ihm angenommen ist, der ganze Heizdampf. Dazu würde gehören, dass der Heizdampf einer Spannung, auch am Ausgange, unterliegt, die der Temperatur von 130° entspricht. Aber auch dann würden die überschüssenden 30° über dieser Berechnung, worin volle 550 W.E. als nutzbar zu machen vorausgesetzt sind, immer noch verloren gehen. Erst wenn es gelingt den gesammten Heizdampf so weit zu benutzen, dass er zur Hergabe seiner gesammten gebundenen Wärme, und zwar behufs Verdampfung des Ammoniaks, gezwungen wird, ist daran zu denken, dass die Absorptionsmaschinen annähernd in ihrer Leistung den vorstehenden Rechnungsverhältnissen entsprechen können. Aber die Thatsache, dass mit dem verdampfenden Ammoniak im Kocher aus der Lösung stets Wasserblasen, wenn nicht auch Dampf, mitgerissen wird, zieht die Nutzleistung der Maschine sehr bedeutend herab, und zwar bei der Habermann'schen zweifellos mehr, als bei der Carré'schen, weil die Verdampfungsoberfläche kleiner, und die Verdampfung daher lebhafter ist. Belani giebt auch selbst zu, dass die Lösungen nicht konstant so erhalten werden können.

Von welchem bedeutenden Einfluss auf die Nutzleistung aber auch die geringste Aenderung des Lösungsverhältnisses ist, hat er uns gleichfalls nachgewiesen. Dass sich die wirkliche Nutzleistung sehr viel niedriger stellen muss, als hier berechnet, muss sich ergeben, wenn erst ganz zuverlässige Messungen an Habermann'schen Maschinen vorliegen werden.

Aber auch die theoretisch vollkommene Habermann'sche Absorptionsmaschine stellt sich viel ungünstiger, als die theoretisch vollkommene Kompressionsmaschine. Zeuner stellt die letztere zu 76,6 Proc. der aufgewendeten Wärme des Wasserdampfes fest (die Darstellung wird hier später folgen), während erstere pro Kilogramm Wasserdampf 343,49 W.E. nutzbar macht, d. h. $\frac{343,49}{650} = 0,528$ oder 52,8 Proc.

der aufgewendeten Wärme. Es ist hier 650 W.E. insgesamt angenommen worden, weil gleichlautend die gebundene Wärme in der Berechnung mit 550 W.E. eingesetzt ist.

Es sind nun von R. Schöttler*) die Berechnungen des Herrn Belani nachgerechnet und an verschiedenen Stellen Korrekturen vorgenommen worden, die jedoch auch nur das Resultat haben, unter der Voraussetzung, dass, die Nutzbarmachung von 550 W.E. pro 1 kg Wasserdampf wie bei Belani angenommen, die Leistung von 1 kg desselben sich in der

*) Zeitschrift Deutscher Ingenieure 1893, S. 185 fgd.

Habermann'schen Maschine auf **326** W. E. reducirt (statt oben 343 W. E.), und in der Carré'schen Maschine auf **76,4** (statt 82) W. E. — Freilich ist die Richtigkeit der Rechnung aus einem anderen Grunde anzuzweifeln und das Resultat jedenfalls bedeutend zu reduciren. Schon Zeuner hat nämlich in seiner Thermodynamik bemerkt, dass eine Berechnung oder Aufstellung einer exakten Theorie der Absorptionsmaschinen so lange unmöglich sei, als man nicht die Wärmemenge kenne, welche frei wird und der Masse entzogen werden muss, wenn eine Flüssigkeit unter verschiedenem Druck und verschiedener Temperatur Dampf absorbirt, oder welche erforderlich ist, bei höherem Druck und höherer Temperatur ihn wieder aus der Lösung auszutreiben. Strombeck giebt den letzteren Werth bei 1 Atm. abs. und bei Bildung einer Lösung von $16,6^\circ$ zu 502 W. E. an. Der Verfasser hat zur Ausführung seiner Patente, betreffend Kaltdampf-Kraftmaschinen, seinen Theilnehmer dabei, Herrn Dr. Zimmermann, vor einigen Jahren veranlasst, Versuche über die Absorptionswärme von Ammoniak zu machen, wobei sich 500 W. E. bei $+15^\circ$ C. ergaben. Es wurde nämlich durch Erwärmen einer concentrirten Lösung Ammoniak auf dem Wasserbade entwickelt, in einer U-förmigen Röhre gekühlt, in einem mit frisch gebranntem Kalk gefüllten Cylinder vollkommen getrocknet und dann zur Absorption gebracht, und zwar in einem dünnwandigen Glaskolben, welcher bis zum Halse von ganz trockenem Torfpulver umgeben war. Der Kolben enthielt genau 500 g destillirtes Wasser von 15° C. und wurde dann der auf Zimmertemperatur von 15° ebenfalls zurückgebrachte Ammoniakdampf, nachdem alle Luft aus dem Apparat verdrängt war, durch ein ausgezogenes Glasrohr in das Wasser eingeführt. Die Temperatur stieg schnell und gleichmässig, und zwar bei Beginn

2	Uhr	12	Minuten	15°	C.
2	"	17	"	25°	"
2	"	25	"	40°	"
2	"	28	"	45°	"

Schon bevor 45° C. erreicht waren, wurde der Absorptionskolben geschwenkt, und dann die weitere Zuführung in dem Momente unterbrochen, in welchem das Thermometer wieder 45° zeigte. — Ein Gewichtsverlust der Absorptionsflüssigkeit während des Versuches erscheint ausgeschlossen, da der Hals des Kolbens bei Abbruch des Versuches nur ganz schwach angelaufen (bethaut) war. Die Gewichtszunahme der Absorptionsflüssigkeit betrug **34,45** g, die Volumenzunahme bei 15° gemessen **48,8** cbcm. Das Wärmegewicht des Kolbens und Thermometers ist gleich 1 W. E., denn wenn 500 g Wasser von 45° in den leeren Kolben bei Zimmertemperatur von 15° eingefüllt wurden, so zeigte das Thermometer nach einigen Augenblicken 43° C. Liess man dann den Kolben, welcher auch bei diesem Versuche in Torfmehl eingeschlagen war, eine Stunde stehen, so fiel das Thermo-

meter auf 37° C. Mithin ist die Wärmeabgabe nach aussen während der geringen Versuchsdauer nur klein, etwa 1° C.

Temperatur der Absorptionsflüssigkeit . . .	45° C.
Wärmeverlust an den Kolben	2° „
Wärmeverlust nach aussen	1° „
Gesamte Endtemperatur	48° C.
Ab die Anfangstemperatur von	15° „
Bleibt Temperaturerhöhung	33° C.

Es haben also 34,45 g Ammoniak 500 g Wasser um 33° erwärmt oder pro Kilogramm Wasser 16,5 W. E. entwickelt und ausserdem sich selbst um 45—15 = 30° C. erwärmt. Wie viel Wärmeeinheiten dieses letztere ausmacht, wird sich nicht ermitteln lassen. Wenn dieser geringe Werth vernachlässigt wird, so werden bei Absorption von 1 g Ammoniak $\frac{16,5}{34,45} = 0,48$ W. E. oder rund gerechnet unter Berücksichtigung der eigenen Erwärmung 0,5 W. E., d. h. pro Kilogramm Ammoniak 500 W. E. frei.

Es ist anzunehmen, dass zur Austreibung des Ammoniaks ebenso viel Wärme erforderlich ist, wie bei Absorption frei wird. Da aber hierfür von Belani 300 W. E. angenommen sind, so würde das obige Resultat mit 0,6 zu multipliciren sein, so dass sich für die beiden Maschinen $326 \cdot 0,6 = 195,6$ resp. $76,4 \cdot 0,6 = 45,84$ W. E. ergeben würde. Da aber diese aufgenommene Wärme in dem Temperatursausgleicher in Habermann's Maschine zum Theil wiedergewonnen wird, so wird auch dieser von Belani berechnete Wiedergewinn höher ausfallen als dort angegeben. Das wirkliche Resultat für die Maschine mag daher in der Mitte, etwa bei 250 W. E. schätzungsweise liegen.

Neuerdings ist eine Theorie der Absorptionsmaschinen von Professor Dr. H. Lorenz in Halle a. S. veröffentlicht worden in der Zeitschrift für die gesammte Kälteindustrie 1899 Heft 2, deren Inhalt nachfolgend der Hauptsache nach mitgetheilt ist. Es wird der Prozess der Absorptionsmaschine mit der Kondensationsdampfmaschine verglichen. Der Kocher ist Dampferzeuger, wie der Dampfkessel. Nach der Arbeitserzeugung geht dann die Kondensation im Absorber vor sich, der daher dem Kondensator der Dampfmaschine entspricht. Die kleine Pumpe schafft dann die Flüssigkeit in den Kocher (Dampfkessel) zurück, ersetzt also die Speisepumpe. Das im Kocher verdampfte Ammoniak ist aber nicht wasserfrei, sondern ist wie die Hydroxyde anderer Alkalien eine Verbindung mit Wasser, ein Ammoniumhydroxyd von der chemischen Formel NH_4OH . Die bei der Verdampfung dieses Körpers zuzuführende Wärme ist grösser als die für wasserfreies Ammoniak erforderliche. Ebenso wird dann auch bei der Absorption der Dämpfe eine entsprechende Wärmemenge frei. Diese Wärme-

Lorenz's
Theorie
der Absorp-
tions-
maschine.

menge wird mit s_0 bezeichnet, bezogen auf 1 kg Ammoniak. Lorenz nennt sie Wärmetönung, die als ein Bestandtheil der gesammten Absorptionswärme als konstant betrachtet werden könne, indem er voraussetzt, dass sie der Vereinigung von Wasser und Ammoniak in flüssiger Form entspricht ohne nennenswerthe Volumänderung. Dabei muss dann freilich angenommen werden, dass vor der Vereinigung beider Substanzen das Ammoniak flüssig sei bei dem Drucke p , unter dem die Absorption vor sich geht. Zur Verflüssigung muss dem Ammoniak die Verdampfungswärme r entzogen werden, die aus Tabelle XV Seite 110 für die verschiedenen Temperaturen entnommen werden kann. Die Sättigungstemperatur ϑ wird niedriger anzunehmen sein, als die Absorptionstemperatur t , weil der Siedepunkt des flüssigen Ammoniaks niedriger liegt als letztere. Die der Sättigungstemperatur ϑ entsprechende Spannung wird mit p bezeichnet.

Wenn man den Absorptionsprozess sich deutlich machen will, so hat man zuerst den Ammoniakdampf bis auf die Sättigungstemperatur abgekühlt zu denken, wozu die Wärmemenge $c_p(t - \vartheta)$ abzuführen ist. c_p ist die spezifische Wärme des Ammoniaks. Alsdann ist nach der Verflüssigung das Ammoniak von der Temperatur ϑ auf die Temperatur t zu erwärmen, d. h. es ist die Flüssigkeitswärme $q_t - q_\vartheta$ zuzuführen. Die gesammte Absorptionswärme s für 1 kg Ammoniak ist dann bei t° und p Spannung

$$s = s_0 + r + c_p(t - \vartheta) - (q_t - q_\vartheta) \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Die Absorptionswärme ist, wie aus der Gleichung hervorgeht, eine Funktion von Druck und Temperatur, ändert sich also mit diesen.

Fabre und Silbermann haben die Absorptionswärme zu 514 W.E. bestimmt, Strömbeck zu 502 W.E. für atmosphärischen Druck und 17°C . Temperatur, Zimmermann Seite 52 zu 500 W.E. bei 15°C . Lorenz nimmt bei 17° den mittleren Werth 508 W.E. in seinen Rechnungen an.

Der Siedepunkt des flüssigen Ammoniaks ist bei atmosphärischem Druck -33° , daher auch die Sättigungstemperatur $\vartheta = -33^\circ\text{C}$. Die Verdampfungswärme ist dann nach Tabelle XV Seite 110 $r = 331$ W.E., die Flüssigkeitswärme $q_\vartheta = -28$ W.E., die Flüssigkeitswärme bei $+17^\circ$, d. h. $q_t = +16^\circ$ W.E. pro kg Ammoniak.

Die spezifische Wärme für Ammoniak ist $c_p = 0,52$.

Die Formel berechnet sich daher $508 = s_0 + 331 + 0,52(17 + 33) - (16 + 28)$ oder $s_0 = 195$ W.E. pro kg Ammoniak, und man ist nun im Stande die Absorptionswärme für verschiedene Temperaturen zu berechnen. Wenn die spezifische Wärme des flüssigen Ammoniaks bei allen Temperaturen als 1 angenommen wird, d. h. $c = 1$, so ändert sich die Formel (1) in

$$s = s_0 + r + (c_p - c)(t - \vartheta), \quad \text{d. h. } s = 195 + r - 0,48(t - \vartheta) \quad . \quad (1a)$$

Tabelle IX.

Es wird dann die Absorptionswärme des Ammoniaks

Absoluter Druck in kg pro qcm	Entsprechend		Verbindungstemperatur von Wasser und Ammoniak			
	ϑ°	r Cal.	0°	50°	100°	150°
1	- 33	331	511	487	463	455
2	- 19	327	507	483	459	451
5	+ 3,6	314	496	470	446	438
10	+ 24	296	476	452	428	420

Wenn man unter G diejenige Gewichtsmenge Ammoniak versteht, welche bei dem Drucke p und der Temperatur t unter Abführung der Absorptionswärme sich mit der Gewichtsmenge Wasser G_0 vermischt, so

bezeichnet die Gleichung $y = \frac{G}{G_0} \dots \dots \dots (2)$

den Sättigungsgrad der Lösung. Bei Fortsetzung der Absorption steigt der Druck und die Temperatur, wenn die grössere Wärmeentwicklung nicht abgeführt wird. Der Sättigungsgrad ist also ebenfalls eine Funktion der Temperatur und des Druckes. Die Tabelle X giebt bei verschiedenen Temperaturen diese Funktionen an, soweit sie beobachtet sind.

Tabelle X.

Sättigungsgrade des Ammoniaks für 1 kg und 1 qcm Druck.

Temperatur $^\circ$ C.	Sättigungsgrad y	Spec. Gewicht
- 40	2,94	0,74
- 30	2,78	0,73
- 20	1,77	0,75
- 10	1,11	0,78
0	0,90	0,79
+ 10	0,68	0,80
+ 20	0,52	0,82
+ 30	0,41	0,84
+ 40	0,34	0,88
+ 50	0,28	0,90
+ 60	0,24	0,91
+ 70	0,19	0,93
+ 80	0,15	0,94
+ 90	0,11	0,95
+ 100	0,07	0,97

Nun kann man aus einer Lösung das Ammoniak nicht bei konstantem Druck und konstanter Temperatur austreiben, sondern die Temperatur muss zuerst bis zum Sättigungsgrad gesteigert werden, bevor die Aus-

treibung beginnen kann, wenn die Lösung nicht gesättigt war. Umgekehrt ist der Druck bis zur Sättigungsspannung zu erniedrigen, wenn die Temperatur nicht geändert werden soll. Sobald die Dampfaustreibung beginnt, vermindert sich der Sättigungsgrad, und daher muss man, um diese fortzusetzen, die Temperatur beständig erhöhen. Die Mitverdampfung von Wasser aus der Lösung kann der geringen Menge wegen vernachlässigt werden.

In dem Kocher findet die Austreibung des Ammoniaks bei konstanter Spannung und stets steigender Temperatur statt, während der Sättigungsgrad beständig sinkt. Aus dem Wechsler kommt die reiche Lösung und tritt in den Kocher im Gegenstrom gegen die ausgetriebenen Dämpfe ein. Der Eintritt der ersteren und der Austritt der letzteren erfolgt daher bei nahezu gleicher Temperatur. Da die eintretende gesättigte Lösung im Kocher erwärmt wird, so erfolgt dabei eine Gasentwicklung. Die Lösung kann daher während der Temperatursteigerung nur in gesättigtem Zustande erhalten werden, wenn Wasser ihr zugeführt wird, und das geschieht durch Aufnahme des mit den ausgetriebenen Ammoniakdämpfen mitgerissenen Wassers. Auf diese Weise werden die ausgetriebenen Dämpfe gewissermaassen rektifiziert.

Die Sättigungstemperatur der reichen Lösung bei dem Druck des Kochers sei t_1 , die Temperatur der armen Lösung nach der Verdampfung sei t_2 ; letztere ist grösser als t_1 . Die Gewichtsmenge der reichen Lösung ist $(G + G_0)$ kg. Dann ist die Wärmezufuhr $dQ = c(G + G_0)dt + sdG$. (3)

Nach Versuchen von Rouart sind bei 48° , 88° , 108° und 156° die absoluten Spannungen in einer Absorptionsmaschine resp. 1,5 Atm., 5 Atm., 7,5 Atm. und 15 Atm.

Versuche von Lorenz gaben von 5,92 kg pro qcm Drucksteigerung auf 9,08 kg die Temperaturerhöhung von 102° auf 137° C.

Die Rouart'schen Resultate entsprechen nach Ledoux über 100° der Formel:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^\mu \dots \dots \dots (4)$$

bei dem Exponenten $\mu = 0,167$, während für adiabatische Kompression

bei Ammoniak sein müsste $\mu = \frac{k-1}{k} = \frac{c_p - c_v}{c_p} = 0,242$. Lorenz's Beobachtungen führen auf den Exponenten $\mu = 0,208$.

Es sei Θ die absolute Temperatur reinen Ammoniakdampfes bei bestimmten Spannungen, T die absolute Temperatur des ausgetriebenen Dampfes, dann erhält man

das Verhältniss $\frac{\Theta}{T}$ nahezu konstant für gleiche Konzentration der Lösung,

nämlich es ist

für $p = 5,6$	4,5	3	2 kg/qcm
$\Theta = 279$	274	265	255°
$T = 373$	363	343	330°
$\Theta:T = 0,75$	0,76	0,77	0,77°

Dieses Verhältniss festgehalten, bildet sich für die Werthe $1 + \frac{1}{y}$
 $= \frac{G + G_0}{G}$ und $\frac{T}{\Theta}$ folgende

Tabelle XI.

y	$1 + \frac{1}{y}$	$\log\left(1 + \frac{1}{y}\right)$	$\frac{T}{\Theta}$	$\log\left(\frac{T}{\Theta}\right)$
0,9	2,111	0,322	1,14	0,053
0,68	2,471	0,433	1,18	0,072
0,52	2,923	0,465	1,22	0,086
0,41	3,439	0,535	1,26	0,100
0,34	3,941	0,595	1,30	0,114
0,28	4,571	0,660	1,35	0,130
0,24	5,167	0,713	1,39	0,140
0,19	6,263	0,797	1,43	0,155
0,15	7,667	0,884	1,47	0,167
0,11	10,091	1,004	1,51	0,179
0,07	15,286	1,184	1,55	0,190

Aus dieser Tabelle folgt die Formel von 0° bis 100° $\log\left(\frac{T}{\Theta}\right) = 0,181$
 $\log\left(\frac{G + G_0}{G}\right)$ oder $\frac{T}{\Theta} = \left(\frac{G + G_0}{G}\right)^\mu = \left(1 + \frac{1}{y}\right)^\mu$ (bei μ 0,181) . . . (5)

Für reinen Ammoniakdampf, wo $G_0 = 0$ ist, wird $T = \Theta$.

In der folgenden Tabelle XII sind die absoluten Temperaturen für einige in der Praxis vorkommende Spannungen angegeben bei verschiedenen Werthen für y , d. h. bei verschiedenen Sättigungsgraden.

Tabelle XII.

pro kg/qcm	Θ°	T für $y =$						
		0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
8,79	293	344	350	358	367	382	405	452
10,31	298	350	356	363	374	389	412	460
12,01	303	356	362	369	380	395	419	468
13,91	308	362	368	376	387	402	426	475

Aus der vorstehenden Tabelle lassen sich mit Hülfe von Gleichung (1) die Werthe von der gesammten Absorptionswärme s berechnen.

Tabelle XIII.

pro kg/qcm	θ°	s für $y =$						
		0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
8,79	293	480	477	473	469	462	451	428
10,31	298	474	471	468	463	455	444	421
12,01	303	468	465	462	457	450	438	414
13,91	308	462	459	455	450	443	431	408

In der Fig. 14 sind nun aus den eingezeichneten Kurven die Absorptionswärmen s für die bezeichneten vier Spannungen und die betreffenden Sättigungsgrade zu entnehmen. Man bestimmt die beiden Sättigungsgrade der Lösung beim Eintritt y_1 und beim Austritt y_2 und bestimmt daraus die Temperaturen T_1 und T_2 , sowie durch Planimetrieung des dem Drucke p entsprechenden Diagramms den mittleren Sättigungsgrad, aus dem dann aus der Figur die mittlere Abtreibungswärme s_m bestimmt werden kann. Die dem Kocher zuzuführende Wärme ermittelt sich dann aus Gleichung (3)

$Q = cG_0(1 + y_m)(T_1 - T_2) + G_0(y_1 - y_2)s_m$. . (6)

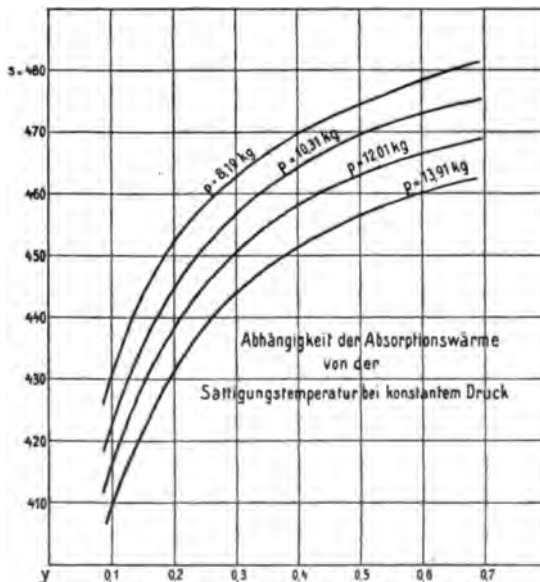


Fig. 14.

Auf diese Weise ist wenigstens ein Schritt gethan zur Erkennung des Processes bei Absorptionsmaschinen, wenn auch noch verschiedene Feststellungen an arbeitenden Maschinen gemacht werden müssen.

Lorenz berechnet nun an einem Beispiele die erforderliche Ausbreitungswärme wie folgt:

Der Sättigungsgrad der in den Kocher eintretenden Lösung sei $y_2 = \frac{G_2}{G_0} = 0,6$, der austretenden Lösung $y_1 = \frac{G_1}{G_0} = 0,2$.

Dann folgen aus Tabelle XII die absoluten Temperaturen, resp. die Celsius'schen Grade t , die in Tabelle XIV zusammengestellt sind.

Tabelle XIV.

Kocherdruck	Eintrittstemperatur t_2 ($y_2 = 0,6$)	Austrittstemperatur t_1 ($y = 0,2$)	$T_1 - T_2$ resp. $t_1 - t_2$
8,79	77° C.	132° C.	55° C.
10,31	83° "	139° "	56° "
12,01	89° "	146° "	57° "
13,91	95° "	153° "	58° "

Den mittleren Sättigungsgrad findet man für alle vier Drucke aus der Fig. 14 nahezu gleich, nämlich $y_m = 0,35$, während die Absorptionswärme für die vier Spannungen ist resp. $s_m = 467, 461, 455, 449$ W. E.

Wird $y_m = 0,35$ und $y_1 - y_2 = 0,4$ in die Gleichung (6) eingesetzt, die spezifische Wärme c für flüssiges Ammoniak und Wasser = 1 und $G_0 = 1$ kg Wasser, so wird $Q = 1,35(T_1 - T_2) + 0,4s_m$.

Daraus folgt unter der Benutzung der Tabellen XIII und XIV für die Werthe $T_1 - T_2$ und s_m für $p = 8,79 \cdot 10,31 \cdot 12,01 \cdot 13,91$ kg pro qcm
 $Q = 261 \quad 260 \quad 259 \quad 258$ W. E.

Davon ist noch die Wärme abzuziehen, welche das ausgetriebene Ammoniak abgibt an die eintretende Lösung. Sie ist

$$Q_2 = \int_{t_2}^{t_1} c_p (t - t_2) dG = c_p G_0 \int_{t_2}^{t_1} (t - t_2) dy \quad \dots \quad (7)$$

oder durch Planimetrieren der betreffenden Diagramme für $G_0 = 1$ kg Wasser

$$Q_2 = c_p (t_m - t_2) (y_1 - y_2) = 0,52 \cdot 0,4 (t_m - t_2) \quad \dots \quad (7a)$$

Die gesuchte Mitteltemperatur für die vier Spannungen ist dann

$$\begin{array}{cccc} t_m = & 97^\circ & 104^\circ & 110^\circ & 116^\circ \text{ C.} \\ \text{also } t_m - t_2 = & 20^\circ & 21^\circ & 21^\circ & 21^\circ \text{ C.} \\ Q_2 = & 4 & 4 & 4 & 4 \text{ W. E.} \\ Q_1 + Q_2 = & 48 & 46 & 45 & 44 \text{ W. E.} \end{array}$$

und die dem Kocher zur Austreibung von 0,4 kg Ammoniak zuzuführende Wärmemenge aus einer Lösung von 1,6 kg ist

$$Q - Q_1 - Q_2 = 213 \quad 214 \quad 214 \quad 214 \text{ W. E.}$$

oder auf 1 kg Ammoniak bezogen $\frac{Q - Q_1 - Q_2}{y_1 - y_2} = \frac{214}{0,4} = 535$ W. E.

Die wirkliche Austreibungswärme ist also nahezu unabhängig von der Spannung im Kocher oder im Kondensator einer Absorptionsmaschine.

Geschieht die Kondensation der Ammoniakdämpfe im Kondensator bei $\vartheta_1 = 20^\circ \quad 25^\circ \quad 30^\circ \quad 35^\circ$, so werden sie zunächst abgekühlt um $0,52(t_2 - \vartheta_1) = 29 \quad 30 \quad 30 \quad 31$ W. E. dazu die Verflüssigungswärme $r_1 = 300 \quad 295 \quad 290 \quad 284$ W. E.

Beim Uebertritt des flüssigen Ammoniaks aus dem Kondensator in den Verdampfer nimmt dasselbe bei $\vartheta_2 = -10^\circ$ C. einen Temperaturüberschuss mit von $q_1 - q_2 = 27 \quad 32 \quad 37 \quad 42$ W. E. und daher ist bei Verdampfungswärme von $r_2 = 322$ W. E. bei -10° C. $r_2 - (q_1 - q_2) = 295 \quad 290 \quad 285 \quad 280$ W. E.

Die Dämpfe werden im Absorber bei atmosphärischer Spannung und etwa 20° C. $= t_3$ absorbiert. Die Absorptionswärme ist dann 511 W. E. pro kg Ammoniak, wovon abgezogen werden muss $0,52(t_3 - \vartheta_2) = 16$ W. E. Dann ist noch die Arbeit der Ammoniakpumpe zu berechnen, welche die reiche Lösung aus dem Absorber nach dem Kocher zu befördern hat, d. h. von der Spannung p_2 auf die Spannung p_1 . — Die zu fördernde Menge ist für 1 kg Ammoniak $= \frac{1,6}{0,4} = 4$ kg Lösung $= G_1$. — Wenn γ das spec.

Gewicht der Lösung ist, so ist die Arbeit $AL = AG_1 \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$. Nach Tabelle X ist $\gamma = 0,82$, daher wird für $p_1 = 8,79 \quad 10,31 \quad 12,01 \quad 13,91$
 $AL = 0,8 \quad 1 \quad 1,2 \quad 1,4$

Wenn die Rechnung richtig ist, so muss die Summe der zugeführten Wärme gleich der Summe der abgeführten sein, d. h. es muss

$$Q_1 = \frac{Q - Q_1 - Q_2}{y_1 - y_2} + r_2 - q_1 + q_2 + AL = Q_2 = c_p(t_2 - \vartheta_1) + r_1 + s_2 - c_p(t_3 - \vartheta_2)$$

sein.

Es wird dann für $p_1 = 8,79 \quad 10,31 \quad 12,01 \quad 13,91$ kg pro qcm
 $Q_1 = 831 \quad 826 \quad 821 \quad 816$ W. E.
 $Q_2 = 824 \quad 820 \quad 815 \quad 810$ W. E.

Die Differenz von 6 bis 7 W. E. pro 1 kg Ammoniak, d. h. unter 1 Proc., ist für die Wärmebilanz unerheblich.

orie der
Kom-
pressions-
maschine.

Eine Theorie der Kompressionsmaschinen existirt von Marchena, die ich benutzte in meinem Buche über „Kompressions-Kältemaschinen“. Sie soll auch hier zum Theil Verwendung finden, weil sie den Gegenstand ausserordentlich eingehend und scharf behandelt, obwohl sich die mathematischen Entwicklungen noch auf den Carnot'schen Kreisprozess stützen, der, wie allgemein bekannt, vollkommen adiabatische Vorgänge bei Kompression und Expansion voraussetzt, sowie konstante Temperaturen während der Abkühlung der Dämpfe im Kondensator und der Wärmeaufnahme im Refrigerator. Es sind besonders von Professor Lorenz in der Zeitschrift für die gesammte Kälteindustrie werthvolle Arbeiten veröffentlicht worden, auf welche nachstehend in Fussnoten verwiesen werden

wird, bei denen nach dem polytropischen Prozess die Thatsache berücksichtigt worden ist, dass die Vorgänge im Kondensator und Refrigerator nicht ohne Temperaturänderungen erfolgen. Darauf einzugehen würde mich hier zu weit führen, weil dies Buch hauptsächlich der Praxis dienen soll. Es sei nur vorweg bemerkt, dass nach dem polytropischen Arbeitsprozeß fast genau dieselben Resultate herauskommen, wie bei einem Carnot'schen Prozesse, bei dem als obere Temperatur das Mittel zwischen den Temperaturen des zulaufenden und ablaufenden Kühlwassers, und als untere Temperatur das Mittel zwischen den Temperaturen des zu- und ablaufenden Salzwassers angenommen wird.

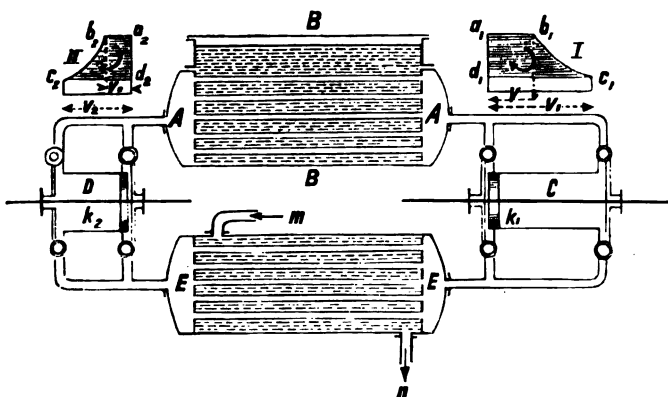


Fig. 15.

In der folgenden Theorie sind nur die mit Ammoniak und mit Kohlensäure arbeitenden Kompressionsmaschinen behandelt worden. Diese beiden Flüssigkeiten können als Extreme insofern bezeichnet werden, als es nicht vortheilhaft erscheint weniger flüchtige Flüssigkeiten anzuwenden, als Ammoniak, und noch flüchtigere, als Kohlensäure. Die so sehr viel benutzte schweflige Säure liegt mit ihren Eigenschaften zwischen beiden, aber nahe dem Ammoniak. Der Kreislauf in den Kompressionsmaschinen ist, wie hier wiederholt werden mag, der folgende, und zwar mag als Schema der Kompressionsmaschinen die Fig. 15 dienen.

Der Verdampfer *AA* sei mit Ammoniak in flüssigem und dampfförmigem Zustande gefüllt von 2,3 Atm. Spannung und -15° Temperatur. Die in dem umgebenden Raum *BB* befindliche Salzlösung wird dadurch abgekühlt. Bekanntlich werden entweder zur Eiserzeugung die Eiszellen, in denen sich Eis bilden soll, in diese Lösung eingehängt, oder sie wird mittels Pumpen in Rohrleitungen durch die Räume gedrückt, welche abgekühlt werden sollen, und aus welchen sie dann etwas erwärmt wieder zurückkehrt, um den Kreislauf von neuem durchzumachen.

Arbeitsart
der Kom-
pressions-
maschine.

Der Cylinder C saugt nun beim Hingange des Kolbens Ammoniakdampf mit etwas Flüssigkeit gemischt aus dem Verdampfer A an, comprimirt ihn beim Rückgange des Kolbens und drückt ihn in den Röhrenkessel EE , den Kondensator. Dieser ist ebenfalls mit einem Mantel versehen, durch welchen Kühlwasser circulirt, das dann erwärmt aus dem Rohr n abströmt, indem es den Ammoniakdampf abgekühlt und dadurch in Flüssigkeit verwandelt hat. Wäre die Temperatur im Kondensator z. B. $+20^{\circ}$, so ist nach der Tabelle XV die Spannung des Ammoniaks 8,5 Atmosphären. Die Flüssigkeit muss nun nach dem Verdampfer zurückgebracht werden, wo sie wieder verdampft u. s. f. Da der Druck im Kondensator grösser als im Verdampfer ist, so wird bei den ausgeführten Kältemaschinen nur ein Rohr nach dem Verdampfer geführt, welches mit einem Regulirventil versehen ist. Es wird durch dasselbe dem Verdampfer so viel Ammoniak zugeführt, wie ihm durch den Kompressorcyylinder entzogen wird, und auf solche Weise ein kontinuierlicher Betrieb herbeigeführt.

Dieses Verfahren ist theoretisch unvollkommen, und müsste vielmehr die Zurückleitung mittels eines Speisecylinders D erfolgen, in welchem der Drucküberschuss als Arbeitsleistung nutzbar zu machen ist. Der Kolben im Cylinder D hat bei konstantem Druck die Flüssigkeit anzusaugen, welche vorher im Kondensator durch die Abkühlung gebildet wurde. Dann wird sie im Cylinder durch Absperrung der Steuerung expandirt bis auf den Verdampferdruck und beim Rückgang des Kolbens in den Verdampfer hinüber geschoben. Diese Prozesse vollziehen sich nach den angefügten Diagrammen. Es sei p_1 der Druck im Verdampfer, p_2 im Kondensator, die Fläche $a_1 b_1 c_1 d_1$ des Diagramms I die Arbeit, welche im Kompressor bei einem Hube aufgewendet wird; die Fläche $a_2 b_2 c_2 d_2$ des Diagramms II die Arbeit, welche im Speisecylinder bei einem Hube gewonnen wird, dann stellt die Differenz beider den Arbeitsaufwand der Maschine pro Hub dar. Die Kurve $b_1 c_1$ ist die Kompressionskurve und $b_2 c_2$ die Expansionskurve, beide adiabatisch (siehe den früher besprochenen Carnot'schen Kreisprozess).

Arbeitswerth der Kompressionsmaschinen.

Theorie
der Kom-
pressions-
maschine.

Der als Medium in der Maschine dienende Dampf wird in einem Kompressor bis zu einer Spannung zusammengedrückt, die genügt, um die Verflüssigung möglich zu machen.

Vom Kompressor wird er in einen Kondensator übergeführt, dort durch Circulation von Wasser abgekühlt, derart, dass er sich unter der Wirkung des Druckes und der Abkühlung verflüssigt.

Die so erlangte Flüssigkeit wird durch eine passende Ausdehnung oder Expansion bis auf Temperatur und Spannung des Refrigerators in diesen übergeführt und verdampft dort vollständig.

Durch die Verdampfung wird eine beträchtliche Wärmemenge gebunden, welche den in dem Refrigerator befindlichen Körpern entzogen wird, und die zum Zwecke der Abkühlung in den Refrigerator gebracht worden sind.

Die erhaltene Temperatur ist desto niedriger, je geringer die Spannung ist, unter welcher die Verdampfung vor sich geht.

Schliesslich gehen die Dämpfe nach der Saugseite des Kompressors, um von neuem verflüssigt zu werden und denselben Kreislauf zu durchlaufen. Alle Maschinen mit kondensirbaren Dämpfen unterliegen diesem Kreislaufe.

Der hauptsächlichste Unterschied zwischen den Maschinen mit kondensirbaren Dämpfen und den mit Luft arbeitenden Maschinen ist der, dass die Wärmeentziehung im Kondensator, welche auf die Kompression folgt, zum Hauptzweck hat, den Dampf zu verflüssigen, nicht ihn nur abzukühlen, und dass es die Verdampfung des verflüssigten Dampfes ist, welche die Wärmeaufnahme im Refrigerator veranlasst.

Aus diesem wesentlichen Unterschiede folgen mehrere wichtige Konsequenzen:

1. Die latente Verdampfungswärme der als Medium benutzten Körper ist im Allgemeinen sehr gross im Vergleich zu der specifischen Wärme der permanenten Gase, und es folgt daraus, dass die Kältemaschinen mit kondensirbaren Dämpfen bei derselben Grösse eine viel grössere Kälteleistung haben müssen, als die Luftmaschinen.
2. Da während der Verdampfung und der Verflüssigung die Temperatur fast konstant bleibt, so haben Wärmeerhöhungen oder Verminderungen keinen anderen Erfolg, als eine Volumenvermehrung oder Verminderung des mit Flüssigkeit gemischten Dampfes. Daher wird der Unterschied zwischen den äussersten Temperaturen des beschriebenen Kreisprozesses weniger gross als bei Luftmaschinen, und daher wird der theoretische ökonomische Erfolg grösser sein. Was den wirklich praktischen Erfolg betrifft, so wird er noch grösser wegen der Thatsache, dass die Maschinen mit kondensirbaren Dämpfen bei gleichem Volumen eine grössere Kälteleistung besitzen; die passiven Widerstände haben bei ihnen viel geringere Wichtigkeit.
3. Die Verdampfung bei konstanter Temperatur ist schwieriger zu erreichen bei sehr niedrigen Temperaturen mit Maschinen mit kondensirbaren Dämpfen, und diese niedrigen Temperaturen können nur durch Verluste in der ökonomischen Leistung erlangt werden. Die Kälteleistung der Maschine ist relativ beträchtlicher als bei Luftmaschinen.

Aus analogen Gründen wird die Leistung sich viel mehr verändern bei Temperaturänderungen in der Wärmeentziehung, d. h. bei Temperaturänderungen des angewendeten Kühlwassers.

Wahl der anzuwendenden kondensirbaren Dämpfe.

Man sieht, dass der beschriebene Kreisprozess in Maschinen mit kondensirbaren Dämpfen durch die beiden Temperaturen charakterisirt ist, zwischen welchen der benutzte Körper sich bewegt, d. h. zwischen

1. der Temperatur T_1 des Kondensators oder der Wärmequelle ($T = 273 + t$; $dT = dt$);
2. der Temperatur T_0 des Refrigerators oder der Kältequelle.

Theoretisch ist es gleichgültig, welcher Dampf oder welche Flüssigkeit als Medium benutzt wird, aber praktisch ist die Wahl sehr entschieden bestimmt durch den Werth der beiden erwähnten Temperaturen des Kreisprozesses.

Es ist nöthig

1. Dass die Maximalspannungen des Dampfes des benutzten Körpers nur so hoch über den niedrigen Temperaturen (Spannungen) des Kreisprozesses liegen, dass die Verdünnung der angesaugten Dämpfe nicht grösser sei als nöthig, weil dem Kompressionscyliner dadurch übertriebene Dimensionen gegeben würden; oder mit anderen Worten, es muss das Gewicht des angesaugten Dampfes für jeden Kolbenhub genügend gross sein, um eine ansehnliche Wirkung hervorzubringen.
2. Dass andererseits die höchsten Dampfspannungen des benutzten Körpers nicht gar zu hoch sind bei den entsprechenden hohen Temperaturen des Kreisprozesses, um nicht befürchten zu müssen für den Gang und den Widerstand der Organe der Maschine, und um nicht gegen zu grosse Konstruktionschwierigkeiten ankämpfen zu müssen.

Indessen die Konstruktion der Kältemaschinen ist in der letzten Zeit so sehr vervollkommnet worden, dass diese Bedingung nicht mehr so grosse Wichtigkeit wie vor 12 oder 15 Jahren hat. Jetzt besteht die Tendenz, Dämpfe von grösserer Flüchtigkeit anzuwenden, und das neuerliche Auftreten von Maschinen mit Kohlensäure, die ohne Nachtheil mit Spannungen von 70 bis 80 Atmosphären arbeiten, hat gezeigt, dass es möglich war, dies ungestraft zu thun.

3. Die kritische Temperatur des angewendeten Dampfes muss über den Temperaturen des Kreisprozesses liegen, damit unter allen Umständen die Verflüssigung möglich ist und die latente Verdampfungswärme genügend ausgenutzt werden kann.

Diese letzte Bedingung zeigt, dass die flüssige Kohlensäure als die letzte Staffel in der Reihe der mehr und mehr flüchtigen Körper betrachtet werden kann, welche man in der Praxis noch versuchen kann in Kältemaschinen zu verwenden.

Diesen fundamentalen Betrachtungen sind noch andere anzufügen von mehr besonderen und auf Unschädlichkeit, Unentzündbarkeit, mehr oder weniger grosse Leichtigkeit die Körper herzustellen, mehr oder weniger erhöhten Preis, und endlich auf den mehr oder weniger ungünstigen Einfluss auf die in der Maschine verwendeten Metalle und Oele oder Fette, die zur Schmierung dienen, beruhenden Gründen. Auch die Reihe der Dämpfe, deren Anwendung versucht worden ist, ist gering genug, und die Zahl derjenigen, welche gute praktische Resultate gegeben haben, ist recht beschränkt.

Man kann sie in zwei Hauptgruppen theilen:

1. In Dämpfe, deren kritischer Punkt sehr entfernt ist von den gewöhnlichen Funktionsbedingungen der Kältemaschinen. Man kann da hervorheben: Schwefeläther und Methyläther, schweflige Säure, Methylchlorür und Ammoniak.
2. In Dämpfe, deren kritischer Punkt in der Nähe der hohen Temperaturen des Kreisprozesses sich befindet. Dahin gehört die Kohlensäure.

Zu dieser Liste sind einige Mischungen einiger dieser Dämpfe hinzuzufügen, Mischungen, welche nach ihren Urhebern mit besonderen Eigenschaften begabt sein sollen, welche wir weiterhin noch untersuchen werden.

Vorzugsweise angewendete Körper.

Wir wollen zuerst die genannten ungemischten Dämpfe einer Besprechung unterziehen und die Vortheile und Nachtheile derselben untersuchen.

In nachstehender Tabelle theilen wir die Maximalspannungen dieser verschiedenen Dämpfe bei den drei Temperaturen von -20° , 0° und $+20^{\circ}$ C. mit.

Maximal-Dampfspannungen.

Temperatur °C.	Schwefel- äther Atm.	Schweflige Säure Atm.	Methyl- chlorür Atm.	Ammoniak Atm.	Kohlen- säure Atm.
- 20	0,09	0,63	1,15	1,85	20,0
0	0,24	1,55	2,50	4,20	36,0
+ 20	0,57	3,25	4,80	8,25	60,0

Die Prüfung dieser Zahlen gestattet die grossen Unterschiede zu erkennen, welchen die Maschinen unterworfen sind, die mit den verschiedenen Körpern arbeiten.

schwefel-
äther.

Schwefeläther. Der Schwefeläther hat sehr geringe Dampfspannungen bei den Temperaturen, mit welchen die Kältemaschinen gewöhnlich arbeiten; bei $+ 35^{\circ}\text{C}$. noch kaum eine Atmosphäre.

Der vom Kompressor angesaugte Dampf ist daher sehr dünn und der Körper eignet sich nur schlecht zur Erlangung niedriger Temperaturen, denn die Kälteleistung der Maschine würde sehr gering werden und die passiven Widerstände sehr gross.

Die latente Verdampfungswärme ist recht mässig, nur 100 bis 120 W. E. Endlich ist der Schwefeläther leicht entzündlich.

Aus allen diesen Gründen haben sich die Aethermaschinen wenig verbreitet und sind bald verlassen worden.

schweflige
Säure.

Schweflige Säure. Die Schwefligsäure-Maschinen waren die ersten mit kondensirbaren Dämpfen arbeitenden Kältemaschinen, welche einen wirklich grossen praktischen Erfolg hatten.

Die schweflige Säure kommt nach dem Schwefeläther in der Reihe der flüchtigen Körper.

Ihre Dampfspannungen, die viel stärker sind (etwa 7 mal), als diejenigen des Schwefeläthers, sind dennoch zu gering. Sie erreichen erst bei -10° den atmosphärischen Druck, so dass an der Saugseite des Kompressors häufig eine geringere Spannung als die Atmosphäre vorhanden ist.

Auch die Maschinen mit schwefliger Säure eignen sich daher nicht besonders zur Erlangung sehr niedriger Temperaturen. Dagegen bieten sie gewisse Vortheile, wenn die im Refrigerator zu erzeugende Temperatur mässig niedrig sein soll (z. B. in Chokoladenfabriken, Brauereien, Eisfabriken u. s. w.), und in warmen Klimaten, weil die Dampfspannungen im Kondensator mässig sind.

Die wasserfreie schweflige Säure ist ein neutraler Körper, der kein Metall angreift, weder Kupfer noch Eisen. Sie besitzt auch, nach der Aussage gewisser Konstrukteure, besondere schmierende Eigenschaften, welche es unnöthig machen, die Organe der Maschinen mit Oel oder Fett zu schmieren. Es entsteht daraus eine bemerkenswerthe Ersparung im Betriebe und eine grosse Einfachheit in der Konstruktion dieser Maschinen. Indessen dieser letztere Punkt wird häufig bestritten, kann aber nicht mehr als zweifelhaft betrachtet werden.

Die wasserfreie schweflige Säure besitzt eine grosse Verwandtschaft zum Sauerstoff in Gegenwart von Wasser. Sie hat eine grosse Neigung, sich in wasserhaltige Schwefelsäure umzuwandeln, die sehr zerstörend auf das Innere der Maschine wirkt. Dieser Uebelstand kann, wie schon gesagt, empfindlich werden, da die Ansaugung im Kompressor sich unter einer Spannung vollzieht, welche unterhalb des Atmosphärendrucks liegt. Daher hat die umgebende Luft die Neigung, in das Innere des Kompressors und

des Refrigerators einzudringen, wenn nicht eine geeignete Konstruktion der Stopfbüchse das verhindert.

Die latente Verdampfungswärme der schwefligen Säure ist ziemlich gering; sie variirt je nach der Temperatur von 85 bis 95 W. E. In der Eisfabrikation rechnet man, im Mittel, dass man 9 bis 10 Liter Dampf im Kompressor ansaugen muss, um eine Kälteeinheit zu erzeugen, und diese Zahl kann als beträchtlich angesehen werden, obgleich sie 6 bis 8mal kleiner ist, als diejenige, die bei Luftmaschinen nöthig erscheint.

Man begegnet in letzter Zeit dem Vorwurf, dass in den Maschinen, die mit schwefliger Säure arbeiten, schwarze Massen sich ansammelten, welche auf Oxydationen zurückzuführen seien. Das ist unrichtig, denn die Masse rührt her von Zersetzungen der thierischen oder vegetabilischen Fette, welche unverständigerweise angewendet worden sind. Die schweflige Säure kann ganz ohne Schmiermaterial arbeiten, wegen ihrer schlüpfrigen Beschaffenheit. Wenn man aber doch für nöthig hält an der Kolbenstange etwas Fett anzuwenden, so soll man mineralisches Fett, am besten Vaseline benutzen. Zu vermeiden sind mit Talg getränkte Zöpfe, zu empfehlen dagegen ganz metallische Stopfbüchsen. Ihr Preis ist niedrig. In Deutschland, wo die Ammoniakmaschinen lange Zeit das Feld allein beherrscht haben, erobern sich daneben jedoch seit einiger Zeit sowohl die schweflige Säure, wie die Kohlensäure ihren Platz.

Methyläther und Methylchlorür. Diese beiden Körper besitzen fast dieselben Spannungen bei Temperaturen von -20° bis $+20^{\circ}$, und zwar sind sie erheblich höher bei tiefen Temperaturen, als die der schwefligen Säure.

Methyl-
äther,
Methyl-
chlorür.

Die latente Verdampfungswärme ist ebenfalls grösser. Bei 0° ist diese etwa 200 W. E. beim Methyläther.

Die Körper sind daher zur Erzeugung niedrigerer Temperaturen zu verwenden, als schweflige Säure, und haben dabei noch den Vortheil, dass ihre Kondensations-Spannungen bei den gewöhnlichen Kühlwasser-Temperaturen nur mässig sind.

Man kann sie daher in der Reihe der flüchtigen Körper als wohl geeignet für die meisten Zwecke der Kältemaschinen betrachten.

Sie sind allerdings leicht entzündlich, aber dagegen sind sie ganz unschädlich, greifen kein Metall, keine Garnitur an. Sie vertragen sich sehr gut mit dem Glycerin, das gewöhnlich zur Schmierung der Maschinen benutzt wird. Trotz ihrer vielen Vortheile ist die Benutzung dieser Körper aus verschiedenen Gründen wenig verbreitet, deren Hauptgrund vielleicht ist, dass man zu spät darauf gekommen ist, und dass sie verschwunden sind durch die grosse Ausdehnung, welche, fast in der Epoche ihrer ersten Anwendung, die Ammoniakmaschinen genommen haben.

Sie sind auch zu schwierig zu bekommen und ihr Preis ist zu hoch.

Ammoniak.

Wasserfreies Ammoniak. Das Ammoniak wird bei $-38,5^{\circ}$ unter atmosphärischem Druck flüssig, wobei es farblos, sehr flüchtig und von einem Gewicht von 0,6234 kg bei 0° ist. Es ist sehr leicht herzustellen durch Destillation einer genügend konzentrirten Ammoniaklösung (Salmiakgeist).

Sein Preis ist verhältnissmässig hoch (etwa 2,5 bis 3 Mark pro Kilogramm), obwohl es eine grosse Zahl von Fabriken, die es herstellen, giebt in Deutschland, Belgien und England.

Die Dampfspannungen bei gleichen Temperaturen des Ammoniaks sind fast dreimal so hoch, als die der schwefligen Säure, und seine latente Verdampfungswärme ist beträchtlicher, als die aller andern Körper, die in der Kälteerzeugung angewendet werden, mehr als 300 W. E. Die specifischen Wärmen des Dampfes und der Flüssigkeit sind ebenfalls sehr gross.

Da die Kälte erzeugenden Eigenschaften sehr gute sind, so kann das Ammoniak als ein ganz besonders für die Kälteerzeugung sich eignendes Medium bezeichnet werden.

Das Ammoniak ist auch gut zu verwenden zur Erzeugung der niedrigsten Temperaturen, welche in der Industrie von den Kältemaschinen verlangt werden.

Seine Dampfspannungen wachsen schnell mit der Temperatur und sind ziemlich hoch bei Temperaturen über 25° oder 30° ; indessen sind sie immerhin noch nicht übertrieben und veranlassen keine besondere Schwierigkeit in der Wahl der Materialien und der Konstruktion der verschiedenen Maschinenteile.

Die Maschinen sind daher in allen Klimaten zu benutzen und bei allen industriellen Anwendungen der Kälteerzeugung.

Der Ammoniakdampf hat einen ausserordentlich starken und durchdringenden Geruch, welcher die geringste Undichtigkeit erkennen lässt. Er ist sehr wenig entzündlich; greift weder Stahl, Schmiedeeisen noch Gusseisen an, besitzt aber die Unannehmlichkeit Kupfer anzugreifen, wodurch man genöthigt ist dieses Metall auch in seinen Kompositionen, der Bronze und dem Messing oder Rothguss, aus den Maschinen, welche mit ihm arbeiten, zu verbannen.

Es übt keine chemischen Reaktionen auf diejenigen Mineralöle aus, welche gewöhnlich zum Schmieren benutzt werden, aber löst sich mehr oder weniger darin auf, besonders bei hohen Spannungen, d. h. es wird absorbiert.

Um die Ueberführung des Oeles in den Refrigerator zu vermeiden, sind die Ammoniakmaschinen stets mit Separationsapparaten versehen, welche den komprimirten Ammoniakdampf von den Oeltheilchen trennen, mit denen er gemischt ist.

Endlich ist Ammoniak ausserordentlich löslich in Wasser bei niedrigen und mittleren Temperaturen. Die Löslichkeit vermindert sich bei steigender Temperatur.

Das Ammoniak ist thatsächlich das am meisten angewendete Medium bei der künstlichen Kälteerzeugung, und sein grosses Ansehen wird durch die grosse Zahl von Patenten bewiesen, welche auf Maschinen und deren Anwendung genommen sind, die damit arbeiten, und durch die grosse Zahl verschiedener Konstrukteure, welche sich mit der Ausbreitung derselben beschäftigen.

Kohlensäure. Die Kohlensäure nimmt eine gesonderte Stellung unter den kondensirbaren Dämpfen ein, die zur künstlichen Kälteerzeugung benutzt werden.

Kohlen-
säure.

Sie bildet, so zu sagen, das Bindeglied zwischen den permanenten Gasen und den kondensirbaren Dämpfen.

Ihre Dampfspannungen sind ausserordentlich hoch bei gewöhnlichen Kühlwasser-Temperaturen, und veranlassen für die damit arbeitenden Maschinen Konstruktions-Schwierigkeiten, welche allerdings in den letzten Jahren gänzlich überwunden sind.

Man kann sagen, dass Kohlensäure-Maschinen jetzt in den praktischen Gebrauch übergegangen sind, hauptsächlich durch die Bemühungen von Hall und Windhausen in England und Deutschland, und ihre Verwendung breitet sich schnell aus, trotz der Misserfolge, welche die ersten Versuche und gewisse Anwendungen zur Folge gehabt haben.

Die kritische Temperatur der Kohlensäure liegt zwischen 31 und 32° C. Sie befindet sich also sehr nahe den Bedingungen, unter welchen Kohlensäure-Maschinen gewöhnlich arbeiten.

Die Untersuchungen der Herren Andrews und Amagat haben gezeigt, dass über 31° die Verflüssigung sehr schwer zu erreichen ist. Man erkennt dann nicht mehr eine Trennung zwischen Flüssigkeit und Dampf, sondern man hat ein homogenes Fluidum, wenn man langsam seine Temperatur vermindert; wenn man rasch seine Spannung vermindert, sieht man Erscheinungen von beweglichen Streifen durch die ganze Masse. Die Zusammendrückbarkeit dieses Fluidums ist sehr gross, und man kann das Volumen desselben beträchtlich vermindern, ohne die Spannung dadurch merklich zu ändern.

Kritischer
Punkt.

Dieser besondere Zustand erklärt sich aus der Thatsache, dass in diesem Augenblicke der komprimirte Dampf und die Flüssigkeit fast gleiche Dichtigkeit haben, welche verhindert, dass sich eine Scheidung beider vollzieht.

In der Nähe des kritischen Punktes vermindert sich die latente Verdampfungswärme rasch, besonders bei Kohlensäure, deren latente Wärme sehr gering ist, bei den in Betracht kommenden Temperaturen: bei 0° ist sie kaum 56 W. E.

Die Kohlensäure ist indessen im Stande, grosse Kälte zu erzeugen wegen des tiefliegenden Siedepunktes und der auch bei tiefen Temperaturen noch starken Spannungen auf der Saugseite.

Man hat thatsächlich festgestellt, dass die Kohlensäure-Maschinen fortführen einen Theil Kälte zu erzeugen mit einer Kondensator-Temperatur über derjenigen des kritischen Punktes, d. h. selbst dann, wenn die latente Verdampfungswärme wirklich Null ist.

Die spezifische Wärme der flüssigen Kohlensäure ist recht gering bei niedrigen Temperaturen, aber sie wächst sehr schnell mit der Temperatur; jedoch sind die Feststellungen über diesen Gegenstand unsicher und nicht sicher zu fixiren.

Diese besonderen Eigenschaften der Kohlensäure scheinen sie besonders geeignet zu machen, wenn es sich um Herstellung sehr tiefer Temperaturen handelt, und wenn das Kühlwasser mässig warm ist. Aber sie ist schlecht in warmen Klimaten zu verwenden.

Die Kohlensäure bietet den grossen Vortheil, ein absolut indifferenten und neutralen Körper zu sein. Sie greift kein Metall an, kein Oel, keine Garnitur. In geringen Mengen hat sie keine nachtheilige Wirkung auf den menschlichen Organismus und kann, allgemein gesprochen, nicht als ein Gift bezeichnet werden. Auch die Entweichungen in Folge Undichtigkeiten können kaum einen schädlichen Einfluss auf die Personen und Gegenstände in der Nähe haben. Dagegen sind die Entweichungen wegen der Geruchlosigkeit schwer zu erkennen und zu finden.

Ihre industrielle Herstellung ist leicht, sei es mittels Vergärung alkoholischer Flüssigkeiten, sei es durch Wirkung von Schwefelsäure oder Salzsäure auf kohlenensaure Alkalien; stets kann sie mit geringen Unkosten hergestellt werden. Ihre Benutzung ist sehr mannigfaltig und es giebt viele Fabriken in Deutschland, Frankreich, Belgien und England, die sie herstellen.

Flüssigkeits-
gemische.

Flüssigkeitgemische und Dämpfe. Einige Erfinder haben versucht, die einfachen Dämpfe, welche wir haben Revue passiren lassen, durch Mischungen zu ersetzen, welche während der Spannungsperiode mit der flüchtigeren Flüssigkeit zusammen flüssig werden, und während der Verdampfungsperiode gleichzeitig verdampfen sollten. Auf diese Weise hofften sie durch geschickte Auswahl der Körper, welche die Mischung bilden, den Saugdruck zu vergrössern und die mechanische, zur Kompression erforderliche Arbeitsleistung zu vermindern, wobei die chemische Verwandtschaft der Körper helfen sollte die Verflüssigung herbeizuführen.

Tessié du
Motay's
Mischung.

Tessié du Motay, welcher der erste war, der sich mit dieser Frage beschäftigte, hat Schwefeläther und schweflige Säure gemischt. Die Saugspannungen waren viel höher als die des Schwefeläthers, aber geringer als die der schwefligen Säure.

Pictet's
Mischung.

Pictet dagegen hat, um die Dampfspannungen der schwefligen Säure möglichst zu vergrössern, den Schwefeläther durch Kohlensäure ersetzt. Das Mischungsverhältniss hat er durch die Formel CSO^4 ausgedrückt.

Der Siedepunkt unter atmosphärischem Druck war dadurch auf -19° herabgedrückt; die Spannungen im Refrigerator waren merklich höher als bei reiner schwefliger Säure, und die Spannungen der Verdichtung waren wenig verschieden.

Nachfolgende Tabelle nach Pictet stellt die Spannungen der Mischung CSO^4 und der reinen schwefligen Säure bei verschiedenen Temperaturen dar.

Temperatur °C.	SO^2 Atm.	CSO^4 Atm.
- 20	0,63	0,98
- 10	1,00	1,34
0	1,55	1,83
+ 20	3,20	3,40

Wir fügen hinzu, dass trotz langer Studien und zahlreicher Versuche nach dieser Richtung die binären Flüssigkeiten nicht die Hoffnungen erfüllt haben, welche gehegt wurden, und nach ungünstig ausgefallenen Vergleichsversuchen hat Pictet die Anwendung selbst aufgegeben.

Allgemeine Gleichungen der Körper.

Der Mangel von genügenden experimentellen Grundlagen über die physikalischen Konstanten der Dämpfe und Flüssigkeiten, welche in den Kompressions-Kältemaschinen Verwendung finden, macht das theoretische Studium dieser Maschinen schwierig und ungewiss. Verschiedene dieser Grundlagen sind vollständig falsch, andere sind nicht mit der wünschenswerthen Genauigkeit bestimmt. Aber man kann glücklicherweise unter ihnen eine gewisse Zahl von Beziehungen feststellen, welche eine grosse Hilfe gewähren, um den Mangel physikalischer Erfahrungen zu ergänzen, und um die gemachten zu kontrolliren.

Diese Beziehungen stützen sich auf die Principien der Thermodynamik, und wir wollen sie kurz bezeichnen oder nachstehend feststellen.

Man sagt, dass von einem Kilogramm irgend eines Körpers sein Volumen, seine Spannung und seine Temperatur nicht vollständig willkürlich und unabhängig von einander sind. Es giebt unter diesen drei Eigenschaften, welche wir mit den Buchstaben v , p und T bezeichnen werden, eine gewisse Beziehung $F(pvT) = 0$, welche gestattet, die dritte zu bestimmen, wenn die beiden anderen bekannt sind. Diese Gleichung ist die charakteristische Gleichung des Körpers.

Man kann daher sagen, dass von zwei beliebigen unabhängigen Variablen dieser Grössen die dritte eine Funktion darstellt, die genau durch die Gleichung $F(pvT) = 0$ bestimmt ist.

Dies vorausgesetzt, wird die charakteristische Gleichung des als Medium benutzten Körpers dargestellt durch $F(pvT) = 0$, und es sei ferner dU die Variation der inneren Energie für eine elementare Veränderung dp und dv

Wir haben dann $dU = \frac{dU}{dp} dp + \frac{dU}{dv} dv \dots \dots \dots (1)$

Oder wenn wir v und T als unabhängige Variable betrachten

$$dU = \frac{dU}{dt} dt + \frac{dU}{dv} dv \dots \dots \dots (2)$$

Die Wärmemenge dQ , die durch die elementare Veränderung absorbiert wird, wird sein: $dQ = AdU + Apdv$, und daher

$$\left\{ \begin{aligned} dQ &= A \frac{dU}{dp} dp + A \left(\frac{dU}{dv} + p \right) dv \dots \dots \dots (3) \\ dQ &= A \frac{dU}{dt} dt + A \left(\frac{dU}{dv} + p \right) dv \dots \dots \dots (3') \end{aligned} \right.$$

Setzen wir ausserdem voraus, dass der Werth $\frac{dQ}{T}$ bestimmt ist, so haben wir die Beziehung

$$\frac{dU}{dv} = T \frac{dp}{dt} - p \dots \dots \dots (4)$$

und für die Ausdrücke dQ und dU

$$\left\{ \begin{aligned} dQ &= A \frac{dU}{dt} dt + AT \frac{dp}{dt} dv \dots \dots \dots (5) \\ dU &= \frac{dU}{dt} dt + \left(T \frac{dp}{dt} - p \right) dv \dots \dots \dots (6) \end{aligned} \right.$$

Wenn wir jetzt annehmen, dass der Werth dU ebenfalls bestimmt ist, so haben wir

$$\frac{d^2U}{dt dv} + T \frac{d^2p}{dt^2} \dots \dots \dots (7)$$

Wir würden auch die Gleichung (3) theilen können, um auszudrücken, dass der Werth $\frac{dQ}{T}$ bestimmt ist. Dann haben wir die Beziehung

$$T = \frac{dt}{dp} \left(\frac{dU}{dv} + p \right) - \frac{dt}{dv} \frac{dU}{dp} \dots \dots \dots (8)$$

zwischen den beiden partiellen Ableitungen von U .

Andererseits, wenn wir berücksichtigen, dass T eine Funktion von p und v ist, so kann das Differential dt geschrieben werden:

$$dt = \frac{dt}{dp} dp + \frac{dt}{dv} dv \dots \dots \dots (9)$$

So können wir einen neuen Ausdruck für dQ erhalten, indem wir $\frac{dU}{dp}$ und $\frac{dt}{dp}$ aus den Gleichungen (3), (8) und (9) eliminieren:

$$dQ = \frac{A}{\frac{dt}{dv}} \left[\left(\frac{dU}{dv} + p \right) dt - T dp \right] \dots \dots \dots (10)$$

Wenn man mit C_p die spezifische Wärme bei konstantem Druck des Körpers bezeichnet, bei der Temperatur T und der Spannung p , so kann man schreiben

$$C_p dt = A \left(\frac{dU}{dv} + p \right) dv.$$

Eingesetzt in die Gleichung (10), ergibt es

$$dQ = C_p dt - AT \frac{dv}{dt} dp \dots \dots \dots (11)$$

Die partiellen Differentiale von U erhalten wir durch den Ausdruck:

$$\left. \frac{dU}{dv} = \frac{C_p}{A} \frac{dt}{dv} - p \right\} \dots \dots \dots (12)$$

$$\left. \frac{dU}{dv} = \frac{C_p}{A} \frac{dt}{dp} - \frac{T}{\frac{dp}{dv}} \right\} \dots \dots \dots (12')$$

Eingeführt in den Ausdruck von dU , ergibt:

$$dU = \frac{C_p}{dt} dt - T \frac{dv}{dt} dp - p dv \dots \dots \dots (13)$$

wofür auch geschrieben werden kann:

$$dU = \frac{C_p}{A} dt - d(pv) - \left(T \frac{dv}{dt} - v \right) dp \dots \dots \dots (13')$$

Die Integrierung ergibt endlich:

$$\frac{dC_p}{dt} = -AT \frac{d^2v}{dt^2} \dots \dots \dots (14)$$

Bemerkung. Betrachten wir im Besonderen eine elementare Ver- Allgemein Gleichung der Dämpf
änderung bei konstanter Temperatur, so ergibt sich die Gleichung (5):

$$dQ = AT \frac{dp}{dt} dv.$$

Wenn wir dies anwenden auf die Verdampfung, und T und $\frac{dp}{dt}$ als konstant während der ganzen Dauer der Verdampfung betrachten, so haben wir nach der Integration die wohlbekannte Gleichung

$$r = \int dQ = AT \frac{dp}{dt} u,$$

wo u die Volumen-Zunahme eines Kilogramm der Flüssigkeit ist, die unter dem Druck und der in Betracht gezogenen Temperatur verdampft.

Diese Gleichung ist für die Berechnung der latenten Verdampfungswärme sehr wichtig.

Innere Energie der Dämpfe.

Wir haben die Relation (6)

$$dU = \frac{dU}{dt} dt + \left(T \frac{dp}{dt} - p \right) dv,$$

Gleichung der inneren Energie.

$A \frac{dU}{dt}$ ist aber die spezifische Wärme C_p bei konstantem Volumen.

Nehmen wir an, diese spezifische Wärme sei unabhängig von der Spannung. Dann erhalten wir durch Integration:

$$U_1 - U_0 = \frac{1}{A} \int C_v dt + \int T \left(\frac{dp}{dt} - p \right) dv \dots (16)$$

C_v als Funktion der Temperatur vorausgesetzt, hat das erste Integral einen bestimmten Werth, und da dU ein vollständiges Differential ist, so ist auch das zweite Integral bestimmt.

Dies erfordert, dass $\frac{dp}{dt} - p$ eine Funktion des Volumens v sei, d. h. dass sein Differential in Rücksicht auf die Temperatur Null sei.

Durch Differenzirung wird $T \frac{d^2 p}{dt^2} = 0$, was unmittelbar aus Gleichung (7) hervorgeht.

Vorausgesetzt, dass dies die spezifische Wärme bei konstantem Druck sei, welche unabhängig von der Spannung ist, so können wir einen andern Ausdruck für die innere Energie finden.

Die Gleichung (13) wird durch Integrirung ergeben

$$U - U_0 = \frac{1}{A} \int C_p dt - (pv - p_0 v_0) + \int \left(v - T \frac{dv}{dt} \right) dp \dots (17)$$

Die Bedingung der Integration erfordert, dass $v - T \frac{dv}{dt}$ nur eine Funktion von p sei, das heisst, dass sein Differential in Rücksicht auf T Null sei.

Um diese Bedingung auszudrücken, hat man die Relation $T \frac{d^2 v}{dt^2} = 0$, was sich unmittelbar aus der Gleichung (14) ergibt.

Wir sehen, dass es leicht ist, den Werth der inneren Energie irgend eines Körpers auszudrücken, wenn seine spezifische Wärme unabhängig von der Spannung ist.

Wenn dies nicht der Fall ist, dann ist der Ausdruck der inneren Energie viel complicirter.

Für die festen und flüssigen Körper, welche kaum zusammengedrückt werden können, kann sich die Gleichung (13) in anderer Form darstellen. Wir haben dann

$$AdU = C_p dt - A \left[p dv + T \frac{dv}{dt} dp \right] \dots (13)$$

Andererseits ist $dv = \frac{dv}{dp} dp + \frac{dv}{dt} dt$, und da $\frac{dv}{dp} dp$ vernachlässigt werden kann, so erhalten wir, wenn es eingeführt wird in (13)

$$AdU = C_p dt - A \frac{dv}{dt} \left[p dt + T dp \right] = C_p dt - A \frac{dv}{dt} d(pt) \dots (17)$$

Wenn wir es auf den besonderen Fall anwenden, dass man den Körper bei konstantem Druck erwärmt, so wird dieser Druck

$$AdU = C_p dt - Ap \frac{dv}{dt} dt \quad \dots \quad (17'')$$

Für die Körper, deren charakteristische Gleichung der Relation $p = T \frac{dp}{dt}$ entspricht, d. h. von der Form $p\varphi(v) = T\psi(v)$, reducirt sich die Gleichung (17'') auf die Relation

$$AdU = C_v dt.$$

Das ist der Fall der permanenten Gase.

Relation der specifischen Wärme einer Flüssigkeit und ihres Dampfes.

Es seien

U' die innere Energie eines Kilogramm Flüssigkeit bei der Temperatur T' ;
 U und U_0 die Werthe der inneren Energie dieses Kilogramm, verdampft bei den Temperaturen T und T_0 ;

r und r_0 die latenten Verdampfungswärmen bei T und T_0 ;

$q, q',$ und q_0 die Flüssigkeitswärmen bei $T, T',$ und T_0 , d. h. die Wärmemengen, welche nöthig sind, um ein Kilogramm Flüssigkeit von einer gewissen Temperatur und Spannung auf andere Temperaturen wie T, T', T_0 und Spannungen wie p, p', p_0 zu bringen; Specifisch Wärme

p, p_0 die Dampfspannungen bei T, T_0 ;

u, u_0 die durch die Verdampfung unter den Spannungen p und p_0 herbeigeführten Volumenvergrößerungen.

Wir können die Relationen schreiben:

$$\left. \begin{aligned} A(U - U') &= r(q - q') - Apu \\ A(U_0 - U) &= r_0 + (q_0 - q') - Ap_0 u_0 \end{aligned} \right\} \dots \quad (18)$$

oder durch Subtraktion der einzelnen Glieder:

$$A(U - U_0) = r - r_0 + (q - q_0) - A(pu - p_0 u_0) \quad \dots \quad (19)$$

oder durch Differenzirung dieser Gleichung:

$$AdU = dr + dq - Ad(pu) \quad \dots \quad (19')$$

Seien v und σ die specifischen Volumina des Dampfes und der Flüssigkeit bei p und T

$$u = v - \sigma$$

$$d(pu) = d(pv) - d(p\sigma),$$

oder nach der Relation (17)

$$AdU = C_p dt - Ad(pv + A \left[v - T \frac{dv}{dt} \right] dp).$$

Werden U und dU durch ihre Werthe in Gleichung (19') ersetzt, so wird:

$$dr + dq - C_p dt + Ad(p\sigma) - A \left[v - T \frac{dv}{dt} \right] dp = 0 \quad \dots \quad (20)$$

Und da augenscheinlich $dq = \frac{dq}{dt} dt$ ist ($\frac{dq}{dt}$ ist die spezifische Wärme der Flüssigkeit), so kann man schreiben:

$$\left[\frac{dq}{dt} - C_p \right] dt = -dr - A(p\sigma) + A \left[v - T \frac{dv}{dt} \right] dp \quad . \quad (20')$$

Die Gleichungen (20) und (20') mit der Clapeyron'schen Gleichung kombinirt

$$r = AT \frac{dp}{dt} u$$

gestatten die spezifische Wärme eines flüssigen Körpers zu berechnen als Funktion der spezifischen Wärme des dampfförmigen Zustandes, wenn man das Variationsgesetz der Spannungen bei verschiedenen Temperaturen kennt, und das Gesetz der Ausdehnung der Flüssigkeit oder gar nur des Dampfes (der Ausdruck der Ausdehnung der Flüssigkeit ist in den meisten Fällen nur klein). Es ist dann nicht die Kenntniss der charakteristischen Gleichung erforderlich.

Die Gleichungen sind dann sehr werthvoll, weil diese letzten Größen leicht experimentell bestimmt werden können, während die direkte Bestimmung der latenten Verdampfungswärme und der spezifischen Flüssigkeitswärme sehr schwer bei sehr flüchtigen Flüssigkeiten ist, wie bei denen, die in Kältemaschinen benutzt werden (Kohlensäure, Ammoniak u. s. w.).

Wenn die spezifische Wärme bei konstantem Druck des Dampfes unabhängig ist von dem Druck bei den betrachteten Verhältnissen, d. h. wenn man $\frac{dC_p}{dp} = 0$ hat, so ergibt die Integration der Gleichungen (20) und (21):

$$q - q_0 = - (r - r_0) - A(p\sigma - p_0\sigma_0) + \int_T^p C_p dt + A \int_T^p \left(r - T \frac{dv}{dt} \right) dp \quad . \quad (21)$$

Diese Gleichung gestattet leicht $q - q_0$ zu berechnen, wenn man eine genügende Zahl von Werthen für C_p und für $\frac{dv}{dt}$ kennt zwischen den Temperaturen und Spannungen p_0, T_0 und der Spannung und Temperatur p, T .

An Stelle der spezifischen Wärme des Dampfes bei konstantem Druck kann es erforderlich werden, in die Rechnungen die spezifische Wärme bei konstantem Volumen C_v einzuführen.

Nehmen wir wieder die Gleichung (19):

$$AdU = dr + dq - Ad(pv),$$

$$AdU = dr + dq - Ad(pr) + Ad(p\sigma).$$

Andererseits giebt die Gleichung (6) dann:

$$AdU = C_v dt + A \left(T \frac{dp}{dt} - p \right) dv.$$

In die Gleichung (19') eingeführt ergibt:

$$\left(\frac{dq}{dt} - C_v dt = -dr + Ad(pv) - Ad(p\sigma) + A\left(T\frac{dp}{dt} - p\right) dv \right) \quad (22)$$

Vorausgesetzt, dass C_v unabhängig sei von dem spezifischen Volumen v , was erfordert, dass $\frac{d^2p}{dt^2}$ gleich Null sei, so wird die Gleichung (22) durch Integration:

$$q - q_0 = -(r - r_0) + A(pv - p_0 v_0) - A(p\sigma - p_0 \sigma_0) + \int_{r_0}^r C_v dt + A \int_{v_0}^v \left(T \frac{dp}{dt} - p\right) dv \quad (22')$$

Mit den Gleichungen (22) und (22') kann derselbe Zweck erreicht werden, wie mit den Gleichungen (20) und (21).

Für den grössten Theil der Dämpfe sind die spezifischen Wärmen vollständig unabhängig von dem Druck in sehr ausgedehnten Grenzen. Nur wenn das spezifische Volumen sehr klein wird, und hauptsächlich, wenn man sich dem kritischen Punkte nähert, werden die Differenzen zu beachten sein.

Diese Variationen könnten auf andere Weise berechnet werden, wenn man die charakteristische Gleichung der Dämpfe genau kennen würde.

Man hat ja: $\frac{dC}{dv} = AT \frac{d^2p}{dt^2}$, woraus wird $dC = AT \frac{d^2p}{dt^2} dv$

und weiter:

$$C_v = C_{v_0} + A \int_{v_0}^v T \frac{d^2p}{dt^2} dv \dots \dots \dots (23)$$

Man würde auch haben:

$$C_p = C_{p_0} - A \int_p^{p_0} T \frac{d^2v}{dt^2} dp \dots \dots \dots (23')$$

Es ist leicht zu konstatiren, dass die Integrale Null sind für die vollkommenen Gase, und dass sie für Dämpfe nur geringe Werthe haben, in derselben Weise, wie das spezifische Volumen sich nur wenig verändert.

Anwendungen.

Wir haben früher gesehen, dass die kondensirbaren Dämpfe, welche für Kälteerzeugung Verwendung finden, in zwei Hauptgruppen getheilt werden können:

1. die vom kritischen Punkte weiter entfernten Dämpfe;
2. die dem kritischen Punkte nahen Dämpfe.

Wir wollen die entwickelten Formeln auf einen Dampf von jeder dieser Kategorien anwenden, und wählen dazu Ammoniak und Kohlensäure,

welche auch die beiden wichtigsten unter den für Kälteerzeugung benutzten Medien sind.

Ammoniak. Die Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac, repräsentirt durch die Gleichung $pv = RT$, werden nur auf Gase angewendet, die man sonst für permanent hielt.

Bei den kondensirbaren Gasen oder Dämpfen lässt sich immer konstatiren, dass nach der Maassgabe und dem Verhältniss, wie sich der Druck vermehrt, sich das spezifische Volumen vermindert.

Wenn sich das spezifische Volumen nicht gar zu stark vermindert, so hat man festgestellt, dass die charakteristische Gleichung dieser Dämpfe genau genug dargestellt wird durch eine Gleichung von der Form:

$$pv = RT - kv^{-m}$$

oder von der Form:

$$pv = RT - Kp^n.$$

Diese letztere, für die Rechnung bequemere Gleichung, wird gewöhnlich benutzt.

Das Ammoniak wird bis zu Spannungen von 12 bis 15 Atmosphären genau genug bestimmt durch die Gleichung:

$$pv = 53,52 T - 49,42 p^{\frac{1}{3}}$$

Die Produkte pv , die aus dieser Gleichung sich berechnen, weichen sehr wenig von den durch Regnault experimentell bestimmten ab.

Wir können daraus entwickeln:

$$pv = 53,52 T - 49,42 p^{\frac{1}{3}} - 0,00125 p,$$

$$r = pv \cdot A \frac{T dp}{p dt},$$

($\frac{dp}{dt}$ stellt hier nicht die partielle Ableitung von p mit Bezug auf T dar, sondern die Schnelligkeit der Spannungszunahme von Dämpfen mit Bezug auf die Temperatur.)

$$q = r - A p v,$$

$q = q_0 - (r - r_0) - 0,000003 (p - p_0) + 0,508 (T - T_0) - 0,3581 (p^{\frac{1}{3}} - p_0^{\frac{1}{3}})$.
Oder, wenn von der Wärme q_0 ausgegangen wird, welche in der Flüssigkeit bei 0° C. enthalten ist:

$$q = -(r - r_{273}) - 0,000003 (p - p_{273}) + 0,508 (T - 273) - 0,3581 (p^{\frac{1}{3}} - p_{273}^{\frac{1}{3}}).$$

Die Zahl 0,508 stellt die spezifische Wärme des Ammoniaks dar, unabhängig vom Druck. Die Werthe $p = f(T)$ sind nach den Regnault'schen Berechnungen genau bekannt.

Nachstehende Tabelle stellt das Resultat der Rechnungen dar.

Ammoniakdämpfe.

Temperatur T	Spannung p in kg	Produkt pv	Produkt pu	Volum u ($u=v-\sigma$)	Aeusserelatenente Wärme Apu	Innere latente Wärme q	Gesamte latente Dampf- wärme r	Flüssigkeits- wärme q
243°	11 910	11 876	11 861	0,990	27,97	301,9	329,9	— 25,50
248	15 120	12 050	12 031	0,790	28,37	299,6	328,0	— 22,19
253	19 000	12 221	12 197	0,642	28,77	297,1	325,9	— 18,20
258	23 670	12 390	12 360	0,521	29,15	294,1	323,5	— 14,00
263	29 220	12 553	12 517	0,428	29,52	291,4	320,9	— 9,55
268	35 790	12 715	12 670	0,354	29,88	288,1	318,0	— 4,89
273	43 470	12 873	12 819	0,294	30,23	284,7	314,9	—
278	52 410	13 017	12 962	0,247	30,57	281,0	311,5	5,11
283	62 710	13 181	13 103	0,209	30,90	277,0	307,9	10,45
288	75 510	13 333	13 240	0,179	31,23	272,9	304,1	16,00
293	87 920	13 485	13 376	0,152	31,54	268,5	300,0	21,80
298	103 080	13 631	13 502	0,131	31,84	263,8	295,7	27,81
303	120 090	13 777	13 627	0,113	32,14	259,0	291,1	34,05

Kohlensäure. Bei den sehr starken Spannungen, welche bei der Benutzung dieses Körpers in Kältemaschinen gewöhnlich vorkommen, wird die Gleichung desselben nicht mehr mit genügender Genauigkeit ausgedrückt durch die Formel:

$$pv = RT - Kp^n \text{ oder } pv = RT - Kv^{-n}.$$

Betrachtungen auf Grund der molekularen Konstitution der Dämpfe haben dazu geführt, eine complicirtere Formel anzuwenden:

$$\left(p + \frac{c}{\varphi(T)(V+b)^2}\right) \cdot (V-a) = RT$$

oder einfacher nach Clausius:

$$\left(p + \frac{c}{T(V+b)^2}\right) (V-a) = RT.$$

Diese Formel lässt sich ebensogut auf die Flüssigkeit, wie auf den Dampf anwenden.

Die Erfahrungen der Herren Andrews und Amagat haben besonders bei Kohlensäure sehr gute Uebereinstimmung mit vorstehenden Formeln ergeben.

Nach ihnen wird die charakteristische Gleichung der Kohlensäure sehr genau dargestellt durch die Relation:

$$\left(p + \frac{5528}{T(V+0,00048)^2}\right) \cdot (V-0,00044) = 19,141 T;$$

was mit Bezug auf p geschrieben werden kann:

$$p = \frac{19,141 T}{V-0,00044} - \frac{5528}{T(V+0,00048)^2}$$

Diese Formel gestattet für jeden Werth von p und von T die Werthe von v und von σ (specifische Volumina der Dämpfe und Flüssigkeiten) zu berechnen.

Kohlen-
säure.

Man erhält daraus die korrespondirenden Werthe von u , von Apu , von r und von q . Um q zu berechnen, wenden wir die Gleichung (22') an:

$$q = -(r - r_{273^\circ}) + A(pu - p_{273^\circ} u_{273^\circ}) + \int_{273^\circ}^T C_v dt + 26,08 \int_{273^\circ}^T \frac{dv}{T(V + 0,00048)^2}$$

mit
$$C_v = C_{v_{273^\circ}} - 13,04 \int_{273^\circ}^T \frac{dv}{T^2(V + 0,00048)^2}$$

Der Werth des Integrals

$$\int_{273^\circ}^T \frac{dv}{T^2(V + 0,00048)^2}$$

ist sehr leicht zu berechnen, wenn man das Intervall $T - 273$ in kleine Theile theilt, in welchen man voraussetzen kann, dass T konstant und gleich seinem mittleren Werth T_m ist. Jedes Theilchen liefert dann für das Integral den Ausdruck:

$$\frac{1}{T_m^2} \left[\frac{1}{(V + 0,00048)} - \frac{1}{(V' + 0,00048)} \right]$$

und die Summe aller dieser Ausdrücke giebt das Integral.

Diese Formeln haben die folgenden Resultate gegeben:

Dämpfe von Kohlensäure.

Temperatur T	Spannung p in kg	Specifische Volumina		Werthe von $u = r - \sigma$	Aeussere latente Wärme Apu	Innere latente Wärme q	Gesamte latente Dampfwärme r	Flüssigkeitswärme q
		v	σ					
243°	151 500	0,02562	0,00074	0,02488	8,89	58,46	67,35	- 9,30
248	177 000	0,02187	0,00077	0,02110	8,80	58,26	67,06	- 8,74
253	206 000	0,01869	0,00080	0,01789	8,68	57,63	66,31	- 7,94
258	239 000	0,01596	0,00083	0,01513	8,53	56,39	64,92	- 6,62
263	277 000	0,01359	0,00086	0,01273	8,31	54,52	62,83	- 4,81
268	319 000	0,01158	0,00090	0,01068	8,03	52,18	60,21	- 2,64
273	366 000	0,00984	0,00095	0,00889	7,67	49,20	56,87	-
278	418 000	0,00833	0,00100	0,00733	7,23	45,62	52,85	3,00
283	475 000	0,00704	0,00107	0,00597	6,68	41,51	48,19	6,40
288	539 000	0,00588	0,00115	0,00473	6,00	36,38	42,38	10,41
293	608 000	0,00484	0,00126	0,00358	5,13	30,39	35,52	14,71
298	683 000	0,00387	0,00141	0,00246	3,96	22,85	26,81	19,65

Ueberhitzte und gesättigte Dämpfe.

Die Dämpfe verhalten sich verschiedenartig, wenn sie sich in Gegenwart der Flüssigkeit befinden, aus welcher sie sich bilden, oder wenn sie trocken sind. Im zweiten Falle und in gewissen Grenzen verhalten sie sich wie Gase, indem sie sich durch den Druck überhitzen, und sich abkühlen bei der Ausdehnung.

Im ersteren Falle verhalten sie sich wie Dämpfe im wahren Sinne des Worts, d. h. dass ihr Druck nur eine Funktion der Temperatur ist, ganz unabhängig vom Volumen, und umgekehrt. Wenn man die eine dieser Grössen kennt, so ist die andere durch sie bestimmt.

Es sei zuerst im folgenden vorausgesetzt, dass der Dampf während aller verschiedenen Transformationen, welche er durchmacht, beständig gesättigt bleibe, d. h. dass er beständig in Verbindung bleibe mit einer gewissen Menge der ihn erzeugenden Flüssigkeit. Ueberhitzte
und
gesättigte
Dämpfe.

Diese Bedingung, welche eine Bedingung gut funktionirender Kompressionsmaschinen mit kondensirbaren Dämpfen ist, ist in den meisten Fällen leicht zu erfüllen.

Ebenso sei vorausgesetzt, dass die Kompressionen und Expansionen des Dampf- und Flüssigkeitsgemisches sich adiabatisch vollziehen, indem wir den geringen Wärmeaustausch vernachlässigen, welcher durch die Organe der Maschine zwischen dem arbeitenden Dampf und der äusseren Atmosphäre stattfindet, und dessen Einfluss nur sehr unbedeutend ist.

Wir bezeichnen durch:

- T die Temperatur der Flüssigkeit im Verdampfer;
- p_1 die korrespondirende Spannung;
- v_1 die Volumenzunahme von einem Kilogramm Flüssigkeit, wenn sie bei der Temperatur t_1 und unter der Spannung p_1 verdampft;
- q_1 die latente totale Verdampfungswärme;
- q_1' die innere latente Wärme;
- W_1 die Wärmemenge, welche in einem Kilogramm Flüssigkeit enthalten ist bei T_1 ;
- v_1 das spezifische Volumen der Flüssigkeit bei Temperatur T_1 und Spannung p_1 ;
- T_0 die Temperatur des Dampfes beim Ansaugen des Kompressors;
- $r_0, u_0, e_0, q_0, \sigma_0$ die der Temperatur T_0 entsprechenden Grössen, korrespondirend mit $p_1, r_1, u_1, e_1, q_1, \sigma_1$ für die Temperatur T_1 ;
- σ das Verhältniss der Dampfmenge zu dem ganzen Gemisch von Dampf und Flüssigkeit, welche die verschiedenen Theile des Kreisprozesses durchläuft. Wir werden diesen Buchstaben mit Indices versehen, entsprechend den verschiedenen Momenten, bei denen dieses Verhältniss in Betracht gezogen wird;
- v_1 das spezifische Volumen der Dampf- und Flüssigkeitsmischung.

Theoretische Betrachtung einer Maschine mit vollkommenem Kreislauf.

In Allem, was hier folgen wird, werden wir die Transformationen betrachten, die durch ein Kilogramm Dampf- und Flüssigkeitsmischung entstehen, und wir werden die entsprechenden Berechnungen vornehmen.

Der Kompressor saugt ein Gemisch von Flüssigkeit und Dampf vom Zustande $(p_0 T_0 x_0)$ an, und bringt es in den Zustand $(p_1 T_1 x_1)$.

Es sei L_c der Werth der indicirten Arbeit im Kompressor pro Kilogramm Mischung.

Der komprimirte Dampf verflüssigt im Kondensator, wo er aus dem Zustand $(p_1 T_2 x_1)$ in den Zustand $(p_1 T_1 x_1 = 0)$ übergeht, indem er eine Anzahl Wärmeeinheiten abgibt, repräsentirt durch den Ausdruck $Q = r_1 x_1$.

Carnot'scher
Kreis-
prozess.

Die so erzeugte Flüssigkeit tritt dann in den Expansionsapparat über, den wir zuerst als einen Cylinder ansehen wollen, analog dem Expansionscylinder der Luftexpansionsmaschinen; die Spannung verringert sich dann von p_1 auf p_0 , und der Zustand $(p_1 T_1 x_1 = 0)$ wird zu $(p_0 T_0 x'_0)$.

Wir bezeichnen mit L_d den Werth der indicirten Arbeit im Expansionscylinder pro Kilogramm Flüssigkeit.

Beim Austritt aus dem Expansionscylinde tritt die Flüssigkeit in den Refrigerator über, wo die Flüssigkeit zum Theil verdampft und aus dem Zustand $(p_0 T_0 x'_0)$ in den Zustand $(p_0 T_0 x_0)$ übergeht, und indem sie eine Anzahl von Wärmeeinheiten aufnimmt, dargestellt durch die Formel

$$Q_0 = (x_0 - x'_0)r_0.$$

Die auf diese Weise in den Anfangszustand $(p_0 T_0 x_0)$ wieder zurückgeführte Mischung wird von neuem vom Kompressor angesaugt, um immer fortgesetzt denselben Kreisprozess der Transformation zu durchlaufen.

So ist der Zustand beim Beginn jedes Kreisprozesses derselbe, und da die äussere aufgewendete Arbeit $L_c - L_d$ ist, so ergiebt das Princip der Thermodynamik oder der Wärmeäquivalenz die Gleichung

$$A(L_c - L_d) - Q_1 + Q_0 = 0;$$

woraus folgt:

$$A(L_c - L_d) = Q_1 - Q_0.$$

$L_c - L_d$ ist nichts anderes, als die Betriebsarbeit L_m , die der Maschine zugeführt wird, wenn man von den passiven Widerständen absieht.

Setzt man für Q_1 und Q_0 ihre Werthe ein, so hat man:

$$AL_m = r_1 x_1 - r_0 (x_0 - x'_0) \quad \dots \quad (24)$$

Vollziehen sich Kompression und Expansion des Dampfes adiabatisch, so haben wir nach der Gleichung von Clausius:

$$\frac{r_0 x_0}{T_0} - \frac{r_1 x_1}{T_1} = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T} \quad \text{und} \quad \frac{r_0 x'_0}{T_0} = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T} \quad \dots \quad (25)$$

woraus sich ergiebt: $r_0 (x_0 - x'_0) = \frac{T_0}{T_1} r_1 x_1$.

Eingesetzt in die Gleichung (24) ergiebt

$$AL_m = r_1 x_1 \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_0} \quad \dots \quad (26)$$

eine Relation, für welche man auch schreiben kann:

$$AL_m = Q_1 \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_1} \text{ oder } AL_m = Q_0 \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_0} \quad \dots (27)$$

Die theoretische Leistung der Maschine ist dann:

$$\frac{Q_0}{L_m} = A \frac{T_0}{T_1 - T_0} \quad \dots \dots \dots (27')$$

d. h. die Maschine verfolgt einen Carnot'schen Kreisprozess.*) Der Ausdruck ist auch das Maximum desjenigen, was eine Kältemaschine mit Luft, immer zwischen gleichen Temperaturgrenzen arbeitend, theoretisch leisten kann.

Es ist hier am Platze, hervorzuheben, dass dieser Ausdruck der Leistung vollständig unabhängig ist von der Natur des als Medium benutzten Körpers, und daher, abgesehen von dem Einfluss der mehr oder weniger grossen Flüchtigkeit, der latenten Verdampfungswärme u. s. w., und wenn die verschiedenen physikalischen Verhältnisse sich auf gleiche Art abwickeln, das Resultat theoretisch vollkommen gleich sein wird mit Aetherdampf, mit schwefliger Säure, Kohlensäure und mit Ammoniak.

Relative Dimensionen des Kompressors und des Expansionscylinders.

Das Volumen eines Kilogramms der Mischung im Momente der Ansaugung wird gegeben durch die Relation:

Kompressor-Dimensionen.

$$v_0 = u_0 x_0 + \sigma_0.$$

Daher, wenn die Maschine mit jedem Kolbenhube ein Gewicht m der Mischung circuliren lässt, so wird das Volumen V_1 des Kompressors gleich mV_0 sein, d. h.

$$V_1 = m(u_0 x_0 + \sigma_0) \quad \dots \dots \dots (28')$$

und das Volumen des Expansionscylinders wird sein

$$V_0 = m(u_0 x'_0 + \sigma_0) \quad \dots \dots \dots (28'')$$

Man sieht, dass die Natur des Körpers stark die Dimensionen der Maschine beeinflusst, und dass diese Dimensionen desto geringer sein werden, je grösser die Flüchtigkeit des Körpers ist, d. h. je höher die Spannung sein wird bei der Temperatur, bei welcher der Eintritt in den Kompressor stattfindet. Aus den Ausdrücken (28') und (28'') folgt:

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{u_0 x'_0 + \sigma_0}{u_0 + x_0 + \sigma_0} = V_1 \cdot \frac{x'_0 + \frac{\sigma_0}{u_0}}{x_0 + \frac{\sigma_0}{u_0}}$$

*) Die Untersuchungen nach dem Polytropischen Kreisprozess siehe: Zeuner, Thermodynamik, 2. Band, 3. Auflage bei Arthur Felix in Leipzig, Seite 96 fgde; Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 38. Band, 1894 von Dr. H. Lorenz, S. 68 fgde.; Zeitschrift für Kälteindustrie, 1894 u. 1895 bei Oldenbourg in München, diverse Aufsätze von Dr. H. Lorenz.

Wenn $\frac{\sigma_0}{u_0}$ genügend klein ist, d. h. wenn, bei der Temperatur T_0 , das spezifische Volumen der Flüssigkeit vernachlässigt werden kann im Vergleich zu dem ihres gesättigten Dampfes, so hat man deutlich

$$V_0 = V_1 \frac{x'_0}{x_0} \text{ oder } x_1 \text{ und } x_0$$

durch andere Werthe der Gleichung (25) ersetzend:

$$V_0 = V_1 \cdot \left[\begin{array}{c} T_1 \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T} \\ r_1 x_1 + \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{dt} \end{array} \right]$$

V_0 wird zwischen den beiden Grenzwerten:

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{q_1 - q_0}{r_1 x_1 + q_1 - q_0} \text{ oder } V_0 = V_1 \cdot \frac{(q_1 - q_0) \frac{T_1}{T_0}}{r_1 x_1 + (q_1 - q_0) \frac{T_1}{T_0}} \quad (29)$$

Wenn die Differenzen der Temperaturen $T_1 - T_0$ nicht eine gewisse Grenze überschreiten, und wenn die latente Verdampfungswärme gross ist im Verhältniss zur spezifischen Wärme der Flüssigkeit, was stets der Fall sein wird, wenn die Flüssigkeit weit entfernt von ihrem kritischen Punkte sich befindet, so zeigen die Ausdrücke (29), dass die Beziehung $\frac{V_0}{V_1}$ klein sein wird.

Wenn andererseits die äussersten Spannungen gleich sind im Kompressor und im Expansionscylinder, so werden die Mittelspannungen wenig von einander verschieden sein, und die indicirten Arbeiten im Kompressor und im Expansionscylinder werden unter sich fast im Verhältniss der Volumina verschieden sein. Daraus folgt, dass die im Expansionscylinder gewonnene Arbeit sehr gering sein wird im Verhältniss zum Arbeitsaufwand bei der Kompression, und dass man ohne grosse Nachteile und ohne bemerkenswerthe Verminderung des Erfolges den Expansionscylinder fortlassen kann, wodurch sich die Maschine sehr vereinfacht. Dies ist der Fall bei Maschinen, die mit Flüssigkeiten arbeiten, welche den Bedingungen entsprechen, nicht nahe dem kritischen Punkte zu sein (schweflige Säure, Methylchlorür, Ammoniak u. s. w.).

Nehmen wir z. B. Ammoniak und nehmen wir an

$$t_1 = +25^\circ \text{ C.}, t_0 = -25^\circ \text{ C.}, \text{ so haben wir } \frac{V_0}{V_1} = 0,15 \text{ ungefähr.}$$

$$\text{Sei } t_1 = +25^\circ \text{ C. und } t_0 = -15^\circ \text{ C.}, \text{ so wird } \frac{V_0}{V_1} = 0,13.$$

Die im Expansionscyylinder wieder gewonnene Arbeit wird daher kaum $\frac{1}{7}$ oder $\frac{1}{8}$ der im Kompressor verbrauchten Arbeit.

Wenn die Temperatur t_1 nahe dem kritischen Punkte des verwendeten Körpers ist, so liegt die Sache anders. Das Verhältniss $\frac{x'_0}{x_0}$ ist viel grösser für dieselben Grenzen der Temperaturen, daher des relativ schwächeren Werthes von r . Ausserdem, wenn der angewendete Dampf nahe seinem kritischen Punkte ist, so kann der Werth von σ_0 nicht mehr vernachlässigt werden im Verhältniss zu u_0 ; und $\frac{\sigma_0}{u_0}$ kann nicht mehr vernachlässigt werden vor x_0 und x'_0 . Es folgt aus diesen beiden Umständen, dass das Verhältniss $\frac{V_0}{V_1}$ ein ziemlich grosser Bruch sein wird, der sich schnell der Einheit nähert, wenn t_1 sich vergrössert. Es wird dann ebenso mit $\frac{L_c}{L_d}$.

Die Maschine nähert sich alsdann einer Maschine, die mit permanentem Gase und in geschlossenem Kreisprozess arbeitet.

Wenn wir dies z. B. auf Kohlensäure anwenden und voraussetzen

$$t_1 = +25^\circ \text{ C.}, t_0 = -25^\circ \text{ C.}, \text{ so wird } \frac{V_0}{V_1} = 0,55 \text{ ungefähr.}$$

$$\text{Ist } t_1 = +25^\circ \text{ C.}, t_0 = -15^\circ \text{ C.}, \text{ so wird } \frac{V_0}{V_1} = 0,50 \text{ ungefähr.}$$

Die im Expansionscyylinder wieder gewonnene Arbeit ist dann ein grosser Theil der durch die Kompression aufgewendeten Arbeit, und man kann diesen Expansionsapparat nicht mehr fortlassen, ohne die Leistung der Maschine erheblich zu verringern, besonders wenn die Temperatur t_1 relativ hoch ist.

Wir werden bemerken, dass, wenn das Verhältniss $\frac{x'_0}{x_0}$ zunimmt und sich der Einheit nähert, die Differenz $x_0 - x'_0$ sich vermindert, d. h. dass der Gewichtsantheil der Flüssigkeit, welche in der Maschine circulirt hat und wirklich zur Kälteerzeugung benutzt wurde, nach und nach kleiner wird.

Diese verschiedenen Betrachtungen zeigen:

1. Dass in Bezug auf den Leistungserfolg (Wirkungsgrad) nur wenig Unterschied zwischen den verschiedenen Systemen von Kältemaschinen mit kondensirbaren Dämpfen ist, wenn die benutzten Medien zu den Körpern der ersten Kategorie gehören, d. h. wenn sie weit entfernt von ihrem kritischen Punkte sind.
2. Dass die Maschinen mit Flüssigkeiten, die nahe ihrem kritischen Punkte angewendet werden, in denselben Verhältnissen arbeiten können, aber nur geringere Resultate geben, wenn sie ohne Expansionscyylinder arbeiten.

Die Kohlensäure ist daher nicht, a priori, ein zur künstlichen Kälteerzeugung ebenso vortheilhaft anzuwendender Körper, als man geglaubt hat, wenigstens nicht in warmen Klimaten, wo die Temperatur des Kühlwassers nicht weit genug von 32° C. Temperatur, dem kritischen Punkte der Kohlensäure, entfernt ist.

Nutzlosigkeit des Expansionscyinders.

Der Expansionscyylinder ist in fast allen mit condensirbaren Dämpfen arbeitenden Maschinen fortgelassen worden. Seine Anbringung ist ausserdem in der Praxis nicht sehr bequem.

Wir haben gesehen, dass das Volumen des Expansionscyinders durch die Relation

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{u_0 x'_0 + \sigma_0}{u_0 x_0 + \sigma_0}$$

ausgedrückt ist.

Expansions-
cyylinder.

Das Verhältniss $\frac{u_0 x'_0 + \sigma_0}{u_0 x_0 + \sigma_0}$ variirt beträchtlich mit der Temperatur T_0 ,

woraus folgt, dass das Volumen des Expansionscyinders sollte veränderlich gemacht werden, um es nach dem Maass und Verhältniss vergrössern zu können, wie sich die Temperatur im Refrigerator vermindert. Oder die Temperatur des Refrigerators wird variabel gemacht, je nach den Anwendungen und Bedingungen des Betriebes.

Man könnte sich begnügen V_0 das Volumen zu geben, das dem kleinsten vorkommenden Werthe entspricht, den der Bruch $\frac{u_0 x'_0 + \sigma_0}{u_0 x_0 + \sigma_0}$ in der Praxis und für die anderen Werthe der Temperatur haben kann, aber dann wird die Expansion sehr unvollständig sein.

Man zieht in den meisten Fällen vor, ganz und gar diesen Apparat fortzulassen, und hat dadurch folgende Resultate:

1. Die Betriebsarbeit muss um die Menge L_d vermehrt werden, welche sonst wiedergewonnen werden könnte durch den Expansionscyylinder.
2. Die Kälteleistung wird vermindert um eine Anzahl Wärmeeinheiten, die dieser Arbeit entsprechen.

Dies resultirt unmittelbar aus der Gleichung $Q_0 = Q_1 - AL_m$.

Q_1 ist unveränderlich, und wenn man nach einander $L_m = L_c$ macht und $L_m = L_c - L_d$, so ist klar, dass im ersten Falle Q_0 kleiner sein wird, und dass die Verkleinerung genau gleich AL_d sein wird.

Statt zu haben $Q_0 = Q_1 \cdot \frac{T_0}{T_1}$, erhält man $Q'_0 = Q_1 \cdot \frac{T_0}{T_1} - AL_d$.

Der Ausdruck kann auch geschrieben werden:

$$Q'_0 = Q_1 \cdot \left[\frac{T_0}{T_1} - \frac{T_1 - T_0}{T_1} \cdot \frac{L_d}{L_c - L_d} \right].$$

Die Verringerung wird sein:

$$Q_0 - Q'_0 = Q_1 \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_1} \cdot \frac{L_d}{L_c - L_d} \dots \dots \dots (29)$$

Die wirkliche theoretische Leistung wird statt $R = A \frac{T_0}{T_1 - T_0}$

$$R' = A \left[\frac{T_0}{T_1 - T_0} \cdot \frac{L_c - L_d}{L_c} - \frac{L_d}{L_c} \right]$$

und die Verringerung wird:

$$R - R' = A \frac{L_d}{L_c} \cdot \frac{T_1}{T_1 - T_0} \dots \dots \dots (29')$$

$$\frac{R - R'}{R} = \frac{L_d}{L_c} \cdot \frac{T_1}{T_0}$$

Man sieht daraus, dass die Verringerung der Kälteleistung und des Effektverlustes im Verhältniss ebensoviel grösser wird, als die Werthe der Brüche $\frac{L_d}{L_c}$ und $\frac{T_0}{T_1}$ grösser sind. Der Einfluss des Fehlens des Expansionscylinders wird um so empfindlicher, je grösser die Temperaturunterschiede, und je näher die Kondensatortemperatur dem kritischen Punkte liegt. Diese letzte Temperatur spielt die Hauptrolle in dieser Frage.

Kompressionsarbeit.

Es sei zuerst vorausgesetzt, dass die schädlichen Räume Null seien, und es sei mit V das Volumen bezeichnet, das im Kompressionscylinder von dem Kolben beschrieben wird.

Die Betriebsarbeit während der Ansaugung, herbeigeführt durch die angesaugten Körper, wird sein $L_1 = p_0 V$.

Wenn wir mit m das Gewicht des angesaugten Körpers pro Kolbenhub bezeichnen, so haben wir

$$V = m(u_0 x_0 + \sigma_0), \text{ woraus folgt } L_1 = m(u_0 x_0 + \sigma_0) p_0.$$

Die Kompression sei adiabatisch, so wird nach unseren Voraussetzungen die Kompressionsarbeit L_c gleich der Aenderung der inneren Energie der Flüssigkeits- und Dampf Mischung zu Anfang und Ende der Kompression:

Kompressionsarbeit.

$$L_2 = \frac{m}{A} [x_1(r_1 - Ap_1 u_1) - x_0(r_0 - Ap_0 u_0) + (q_1 - q_0)] \dots \dots (30)$$

Endlich wird die Arbeit des Gewichts m bei dem Druck p_1 sein:

$$L_3 = mp_1(u_1 x_1 + \sigma_1).$$

Die indicirte Widerstandsarbeit im Kompressor pro Kolbenhub ist:

$$L = L_2 + L_3 - L_1$$

und wird daher den Werth haben:

$$L = \frac{m}{A} [r_1 x_1 - r_0 x_0 + q_1 - q_0 + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0)] \dots (31)$$

Andererseits hat man die Beziehung:

$$r_0 x_0 = r_1 x_1 \cdot \frac{T_0}{T_1} + T_0 \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T}$$

Dies eingesetzt in den Ausdruck (31) ergibt:

$$L = \frac{m}{A} \left[r_1 x_1 \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_1} + q_1 - q_0 - T_0 \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right] (32)$$

Die Funktion q nach der Formel $a + bt + ct^2$ kann man auch schreiben mit genügender Genauigkeit

$$\int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T} = \frac{q_1 - q_0}{T_1 - T_0} \text{Log} \frac{T_1}{T_0}$$

Man kann daraus folgern:

$$r_0 x_0 = r_1 x_1 \frac{T_1}{T_0} + \frac{q_1 - q_0}{T_1 - T_0} T_0 \text{Log} \frac{T_1}{T_0} \dots (33)$$

$$L = \frac{m}{A} \left[r_1 x_1 \frac{T_1 - T_0}{T_0} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) + (q_1 - q_0) \left(1 - \frac{T_0}{T_1 - T_0} \text{Log} \frac{T_1}{T_0} \right) \right] (32')$$

Diese Gleichungen kann man vereinfachen:

Entwickeln wir $\text{Log} \frac{T_1}{T_0}$ nach der Potenzreihe von $T_1 - T_0$, so erhalten wir

$$\text{Log} \frac{T_1}{T_0} = \frac{T_1 - T_0}{T_0} - \frac{1}{2} \left(\frac{T_1 - T_0}{T_0} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{T_1 - T_0}{T_0} \right)^3$$

Werden die Ausdrücke, mehr als zweiten Grades, vernachlässigt, so wird

einfacher
$$\text{Log} \frac{T_1}{T_0} = \frac{T_1 - T_0}{T_0} \left[1 - \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} \right]$$

Dies in die Gleichungen (33) und (32') substituirt, so folgt:

$$r_0 x_0 = r_1 x_1 \frac{T_0}{T_1} + (q_1 - q_0) \left[1 - \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} \right] \dots (33')$$

und
$$L = \frac{m}{A} \left[r_1 x_1 \frac{T_1 - T_0}{T_1} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) + (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} \right] (32'')$$

oder
$$L = \frac{m}{A} (p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) + \frac{m}{A} (T - T_0) \left[\frac{r_1 x_1}{T_1} + \frac{q_1 - q_0}{2 T_0} \right]$$

In dieser letzten Form sieht man deutlich, wie die Kompressionsarbeit wächst mit dem Temperaturgefälle, mit dem die **arbeiten soll.**

Kondensation und Verdampfung.

Von dem Kompressor aus geht das Dampfgemisch nach dem Kondensator, wo es unter konstantem Druck verflüssigt wird und dabei die Wärmeinheit $Q_1 = m_1 x_1 r_1$ verliert. Darauf geht die Flüssigkeit in den Refrigerator über durch den Expansionsapparat, der in den meisten Fällen nur in einem einfachen Hahn oder Ventil besteht mit Regulirvorrichtung.

Konden-
sation un-
Ver-
dampfung

Es seien:

- w die Ausströmungs-Geschwindigkeit an der Ausgangsmündung;
- $U_1 - U_0$ die Veränderung der inneren Energie eines Kilogramm Flüssigkeit während der Ueberströmung.

Wenn wir annehmen, dass die Ueberströmung bei konstanter Temperatur erfolgt, d. h. wenn wir den geringen Wärmeaustausch an den Mündungswänden vernachlässigen, so wird das Gesetz der lebendigen Kraft, kombinirt mit dem Gesetz der Aequivalenz, uns die Gleichung liefern:

$$A \frac{w^2}{2g} - A(p_1 v_1 - p_0 v_0) = A(U_1 - U_0) \dots (34)$$

Sei x'_0 das Verhältniss des in dem Gemisch enthaltenen Dampfes bei der Ausströmung aus der Mündung, so haben wir

$$v_0 = u_0 x'_0 + \sigma_0 \text{ und } v_1 = \sigma_1.$$

Andererseits $A(U_1 - U_0) = q_1 - [q_1 + x'_0(r_0 - A p_0 u_0)]$.

Eingesetzt in die Gleichung (34), wird der Ausdruck für die Geschwindigkeit:

$$A \frac{w^2}{2g} = A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) + (q_1 - q_0) - r_0 x'_0 \dots (35)$$

Endlich wird die Proportion der Dampfmenge x'_0 bestimmt durch die

Clausius'sche Gleichung: $r_0 x'_0 = T_0 \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T}$,

wofür auch annähernd geschrieben werden kann:

$$r_0 x'_0 = (q_1 - q_0) \cdot \frac{T_0}{T_1 - T_0} \text{ Log } \frac{T_1}{T_0},$$

oder einfacher: $r_0 x'_0 = (q_1 - q_0) \left[1 - \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} \right] \dots (36)$

Wird $r_0 x'_0$ durch diesen Werth aus der Gleichung (35) ersetzt, so erhalten wir: $A \frac{w^2}{2g} = A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) + (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} \dots (35')$

Man sieht, dass der Ausdruck von w nur eine Funktion von T_1 und T_0 ist.

Erzeugte Kältemengen.

Beim Eintritt in den Refrigerator verliert das Flüssigkeitsgemisch seine lebendige Kraft $\frac{m w^2}{2g}$, welche sich in Wärme verwandelt. Es resultirt

daraus die Verdampfung einer Flüssigkeitsmenge $x''_0 - x'_0$, bestimmt durch die Formel:

$$(x''_0 - x'_0)r_0 = A \frac{x^2}{2g} = \left[(q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2T_0} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right].$$

Setzen wir für $x'_0 r_0$ den Werth aus Gleichung (36) ein, so haben wir

$$x''_0 r_0 = q_1 - q_0 + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \dots (37)$$

Die Flüssigkeit verdampft im Refrigerator, bis das Gemisch von Flüssigkeit und Dampf in dem Zustand $(p_0 T_0 x_0)$ angelangt ist, um von neuem vom Kompressor angesaugt zu werden.

Dabei wird eine Anzahl Wärmeeinheiten aufgenommen:

$$Q_0 = m(x_0 - x''_0)r_0.$$

Wird $x_0 r_0$ und $x''_0 r_0$ durch ihre Werthe aus den Gleichungen (33') und (37) ersetzt, so erhalten wir für Q_0 :

$$Q_0 = m \left[r_1 x_1 \frac{T_0}{T_1} - (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2T_0} - A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right] \dots (38)$$

Es ist leicht zu beweisen, dass nun $Q_0 + AL = Q_1$ ist, denn

$$AL = m \left[r_1 x_1 \frac{T_1 - T_0}{2T_0} + (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2T_0} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right] (31'')$$

und daher

$$Q_0 + AL = m r_1 x_1 = Q_1.$$

Oekonomische Leistung.

Wenn wir Glied für Glied der Gleichungen (38) und (32'') dividiren, so erhalten wir:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q_0}{AL} &= \frac{r_1 x_1 \frac{T_0}{T_1} - (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2T_0} - A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0)}{r_1 x_1 \frac{T_1 - T_0}{T_1} + (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2T_0} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0)} \\ &= \frac{T_0 \frac{q_1 - q_0 \frac{T_1 - T_0}{2T_0} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0)}{r_1 x_1} - T_1}{T_1 - T_0 + \frac{(q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2T_0} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0)}{r_1 x_1} - T_1} \end{aligned} \right\} (39)$$

ökonomische Leistung.

Die Gleichung (38) zeigt, dass die Kälteleistung, erzeugt von einem Kilogramm in der Maschine circulirender Flüssigkeit, sich vermindert, wenn sich das Temperaturgefälle vergrößert. Wir haben gesehen, dass die erforderliche Betriebsarbeit im Gegentheil grösser wurde, und aus diesen doppelten Grunde wird sich der ökonomische Erfolg der Maschine sehr schnell vermindern, wie die Gleichungen (39) zeigen.

Wenn das Temperaturgefälle klein genug, und die benutzte Flüssigkeit weit von ihrem kritischen Punkte entfernt ist, so hat die Leistung $\frac{Q_0}{AL}$

einen Werth nahe $\frac{T_0}{T_1 - T_0}$, d. h. eine vollkommen arbeitende Maschine verfolgt den Carnot'schen Kreisprozess.*) Sie entfernt sich um so mehr von dieser Grenze, je grösser das Temperaturgefälle ist, und je näher die Flüssigkeit ihrem kritischen Punkte. Man sieht ferner, dass in einer Gefriermaschine mit kondensirbaren Dämpfen, die nicht mit einem Expansionscylinder versehen ist, die theoretische Leistung nicht mehr unabhängig von dem als Medium benutzten Körper ist.

Die von der Natur der Flüssigkeit abhängigen Grössen finden sich in dem Ausdruck

$$\frac{T_1}{r_1 x_1} \left[(q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right],$$

welcher klein ist für den grössten Theil der angewendeten Körper, derart, dass man sagen kann, dass die theoretische Leistung einer Gefriermaschine mit kondensirbaren Dämpfen der ersten Kategorie beinahe unabhängig von der Natur des benutzten Körpers ist.

Die Maschine besitzt einen Expansionscylinder.

Die vorstehenden Gleichungen müssen dann geändert werden wie folgt:

Angenommen, dass die Expansion vollständig sei von dem Druck p_1 bis zu dem Druck p_0 des Refrigerators, so entwickelt sie an der Admission, d. h. wenn die Flüssigkeit, vom Kondensator kommend, in den Expansionscylinder eintritt, eine Arbeit

$$A'_1 = p_1 v'_1 = m p_1 \sigma_1.$$

Die Arbeit der Expansion L'_2 wird dann sein:

$$L'_2 = \frac{m}{A} [q_1 - q_0 - x'''_0 (r_0 - A p_0 u_0)],$$

worin x'''_0 das Verhältniss der während der Expansion verdampften Flüssigkeit. Expansions-
cylinder. Endlich wird die wiedergewonnene Arbeit sein:

$$L'_3 = p_0 v'_0 = m p_0 (u_0 x'''_0 + \sigma_0).$$

Die totale Arbeit wird dann:

$$L' = \frac{m}{A} [q_1 - q_0 + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) - x'''_0 r_0].$$

Das Verhältniss x'''_0 wird durch die Clausius'sche Gleichung bestimmt:

$$x'''_0 r_0 = T_0 \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T} = (q_1 - q_0) \left[1 - \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} \right].$$

Die im Expansionscylinder wiedergewonnene Arbeit wird dann:

$$L' = \frac{m}{A} \left[q_1 - q_0 \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right] \quad . \quad . \quad (40)$$

*) Siehe Fussnote Seite 83.

Das Flüssigkeitsgemisch geht in den Refrigerator im Zustande $(p_0 T_0 x''_0)$, und die Verdampfung der darin vorhandenen Flüssigkeit findet statt, bis das Gemisch in den Anfangszustand $(p_0 T_0 x_0)$ zurückgekehrt ist.

Die erzeugte Kälte wird durch den Ausdruck $Q'_0 = m r_0 (x_0 - x''_0)$ dargestellt, oder wenn für x_0 und x''_0 ihre Werthe eingesetzt werden:

$$Q'_0 = m r_1 x_1 \frac{T_0}{T_1} \dots \dots \dots (41)$$

Der Vergleich zwischen den Gleichungen (38) und (41) zeigt, dass die erzeugte Kältemenge im zweiten Falle grösser ist, und zwar um die der Arbeit L' entsprechende Menge, ausgedrückt durch die Gleichung (40).

Anwendungen.

Wenn diese Gleichungen angewendet werden auf Ammoniak und Kohlensäure, so ergeben sich für verschiedene Temperaturen im Kondensator und Refrigerator die in nachfolgenden Tabellen niedergelegten Resultate.

Es ist hier am Platze, zu bemerken, dass der Dampf als vollkommen gesättigt vorausgesetzt ist, und dass das Flüssigkeits- und Dampfgemisch bei der Ansaugung des Kompressors nur so viel Dampf enthält, dass während der Kompression keine Ueberhitzung stattfinden kann. Die Rechnungen sind gemacht worden für den Werth x_1 gleich der Einheit.

Maschinen mit Ammoniak.

Temperatur im Kondensator	+ 25° C.		+ 15° C.	
	- 25° C.	- 15° C.	- 25° C.	- 15° C.
Arbeit pr. angesaugtem Kilogramm (L_c) kg	23 280	18 302	19 288	14 234
Arbeit durch die Expansion (L_d) . . . kg	2 240	1 474	1 380	803
Erzeugte Kälte m. Expansionscyliner W. E.	246,1	256,1	261,9	272,4
Erzeugte Kälte ohne Expansionscyliner W. E.	240,8	252,6	258,6	270,5
Leistung pr. Pferd u. Stunde mit Expansionscyliner W. E.	3 150	4 100	3 880	5 840
Leistung pr. Pferd und Stunde ohne Expansionscyliner W. E.	2 790	3 720	3 620	5 130
Verhältni- nisse mit und ohne Ex- pansions- cylinder.				
Dampfverhältniss in dem Gemisch (x_0)	0,887	0,910	0,905	0,930
Dampfverhältniss in dem Gemisch (x''_0)	0,137	0,119	0,107	0,087
Volumen $V_0 = u_0 x_0 + \sigma_0$	0,701	0,475	0,716	0,485
Volumen $V''_0 = u_0 x''_0 + \sigma_0$	0,109	0,063	0,085	0,044
Verhältniss der Volumina $\frac{V''_0}{V_0}$	0,156	0,133	0,119	0,091
Vorhältniss der Spannungen $\frac{p_1}{p_0}$	6,80	4,35	4,93	3,15
Verhältniss der Volumina $\frac{V_0}{V_1}$	5,31	3,60	3,96	2,70

Maschinen mit Kohlensäure.

Temperatur im Kondensator Temperatur im Refrigerator	+ 25° C.		+ 15° C.	
	- 25° C.	- 15° C.	- 25° C.	- 15° C.
mit durch ein angesaugtes Kilogr. (L_c) kg	3 950	3 160	3 634	2 715
mit durch die Expansion (L_d) . . kg	2 040	1 628	1 139	842
erzeugte Kälte mit Expansionscylinder W. E.	22,3	23,2	36,5	38
erzeugte Kälte ohne Expansionscylinder W. E.	17,5	19,4	33,6	35,8
Leistung pr. Pferd u. Stunde m. Expansionscylinder W. E.	3 150	4 100	3 880	5 480
Leistung pr. Pferd u. Stunde ohne Expansionscylinder W. E.	1 190	1 660	2 510	3 580
Verhältniss des Dampfes im Gemisch (x_0)	0,714	0,732	0,808	0,833
Verhältniss des Dampfes im Gemisch (x''_0)	0,382	0,374	0,263	0,247
Formel $V_0 = u_0 x_0 + \sigma_0$	0,0158	0,0119	0,0178	0,0134
Formel $V'''_0 = u_0 x'''_0 + \sigma_0$	0,0088	0,0065	0,0063	0,0045
Verhältniss der Volumina $\frac{V'''_0}{V_0}$	0,56	0,55	0,35	0,33
Verhältniss der Spannungen $\frac{p_1}{p_0}$	3,86	2,86	3,05	2,25
Verhältniss der Volumina $\frac{V_0}{V_1}$	4,08	3,07	3,03	2,28

Die Tafeln zeigen den bemerkenswerthen Unterschied, welchen im Verhältnisse und in der Leistung Maschinen haben, deren angewandte Medien fernst oder nahe ihrem kritischen Punkte sich dabei befinden.

Man sieht im Besonderen:

1. Dass die theoretische Leistung von Maschinen ohne Expansionscylinder, die mit Flüssigkeiten arbeiten, deren kritischer Punkt entfernt von den Arbeitstemperaturen liegt, wenig von der Leistung abweicht, welche ein vollkommener Carnot'scher Kreisprozess ergeben würde.*) Diese Leistung hängt weniger ab von der Kondensatortemperatur, sondern fast nur von der zu erzielenden niedrigen Temperatur. Sie steigt fast ebenso wie diese Temperatur.

Im Gegentheile vermindert sich aber bei flüssiger Kohlensäure die Leistung schnell, wenn die Kondensatortemperatur steigt und sich ihrem kritischen Punkte nähert.

Was wir über die Leistung sagen, bezieht sich auch auf die Kälteleistung von einem durch den Kompressor angesaugten Kilogramm Flüssigkeit. Es ist auf den grossen Unterschied aufmerksam zu machen, welcher in der Leistung besteht zwischen Maschinen mit verflüssigten Dämpfen und den Maschinen mit Luft.

*) Siehe Fussnote Seite 83.

Die angeführten Zahlen in den vorstehenden Tabellen vermindern sich natürlich in der Praxis noch durch Verluste, die im Betriebe unerlässlich sind, wie Reibungsverluste, Verluste beim Ansaugen und Komprimiren, in den schädlichen Räumen u. s. w.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass man etwa 60 bis 80 Proc. dieser Zahlen erreicht, je nach den Dimensionen der Maschine und der Sorgfalt bei der Konstruktion, und selbst mit dieser Reduktion kommt man noch weit über die bei Luftmaschinen gefundenen Resultate.

2. Wie schon auseinandergesetzt, sind die Verhältnisse der Volumina des Expansions- zum Kompressionscylinder, wie der Expansions- zur Kompressionsarbeit, sehr unbedeutend bei ersteren Maschinen, so dass der Expansionscylinder fortgelassen werden kann, ohne erheblichen Einfluss auf die Leistung.

Bei Kohlensäuremaschinen ist es anders, bei denen das Verhältniss der Volumina des expandirten zu dem komprimirten Fluidum Werthe erreichen kann, gleich denjenigen bei Maschinen mit permanenten Gasen.

Endlich ist die Leistung der Maschinen mit Kohlensäure, die nicht mit Expansioncylinder versehen sind, immer derjenigen von Maschinen mit leicht kondensirbaren Dämpfen, wie Ammoniak, unterlegen; und dieser Abfall ist besonders beträchtlich bei relativ hohen Temperaturen des Kondensators. *)

Das Flüssigkeitsverhältniss in dem vom Kompressor angesaugten Gemisch muss erheblich grösser in den Kohlensäuremaschinen sein, als in den Ammoniakmaschinen, obgleich das Kompressionsverhältniss geringer ist.

Der Prozess ohne Ueberhitzung wird daher mit dieser Art von Maschinen schwieriger durchzuführen sein.

Vortheilhafteste Bedingungen im Betriebe.

Nehmen wir an, dass Gleichgewicht vorhanden ist, d. h. dass das vom Kompressor angesaugte Gewicht des Gemisches pro Kolbenhub gleich ist dem in derselben Zeit aus dem Regelventil ausströmenden Gewicht.

Der Ausdruck der pro Kolbenhub erlangten Kälteeinheiten lässt sich dann schreiben

$$\left[\frac{1}{\sigma_{11}} - \frac{1}{\sigma_{22}} \right] - A \cdot \left[\frac{1}{\sigma_{11}} - \frac{1}{\sigma_{22}} \right] \quad (42)$$

*) Die Kälteeinheiten sind nach dem Verfasser, vgl. N. Reel, 1894, S. 161 fgd. und nach dem Verfasser, vgl. N. Reel, 1894, S. 161 fgd. und nach dem Verfasser, vgl. N. Reel, 1894, S. 161 fgd. und nach dem Verfasser, vgl. N. Reel, 1894, S. 161 fgd.

Für Maschinen mit Flüssigkeiten, entfernt von ihrem kritischen Punkte, und mit mässigem Temperaturgefälle, hat der erste Ausdruck in der Parenthese $r_1 x_1 \frac{T_0}{T_1}$ einen überwiegenden Werth, der weitere Werth in der Parenthese $\left[(q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} - A (p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right]$ wird stets gering sein im Vergleich dazu.

Andererseits sind x_0 und x_1 bestimmt durch die Beziehung

$$r_0 x_0 = r_1 x_1 \frac{T_0}{T_1} + T_0 \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T}.$$

Der Ausdruck von Q_0 ist dann eine Funktion von x_0 , T_0 und T_1 .

Vorausgesetzt, dass T_0 und T_1 konstant bleiben, so kann x_0 und folglich auch x_1 variiren. Die Kälteleistung pro indicirtes Meter-Kilogramm im Kompressor wird variiren. Diese Veränderungen sind stets geringer in Maschinen, die unter den Bedingungen arbeiten, die wir oben vorausgesetzt haben.

Was die pro Kolbenhub erzeugte Kälteleistung betrifft, so wird das Maass der Variation, welche aus einer Veränderung von x_0 folgt, nur wenig abhängen von dem Maass der Veränderung seines Hauptausdruckes, d. h. von dem Maasse des Ausdrucks $\frac{x_1}{u_0 x_0 + \sigma_0}$, und da bei der obigen Annahme σ_0 klein ist in Beziehung zu $u_0 x_0$, so wird das Maass dieser Veränderung nur abhängen von der Beziehung $\frac{x_1}{x_0}$. Oder

$$d \left(\frac{x_1}{x_0} \right) = \frac{x_0 dx_1 - x_1 dx_0}{(x_0)^2} = \frac{dx_1}{(x_0)^2} \cdot \frac{T_0}{r_0} \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T},$$

eine Grösse, die immer das Vorzeichen von dx_1 hat.

Es wird also $d \frac{x_1}{x_0}$ negativ sein, wenn x_1 kleiner wird, und es folgt daraus, dass die Beziehung $\frac{x_1}{x_0}$ sich vermindert.

Ebenso wird es mit der durch die Maschine erzeugten Kälteleistung gehen. Wenn der untergeordnete Ausdruck

$$(q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} + A (p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0)$$

eine relativ beträchtliche Wichtigkeit erhält, so bleiben dieselben Schlussfolgerungen bestehen. Die Verringerung der Kälteleistung wird noch beträchtlicher sein, weil, wenn der Divisor $u_0 x_0 + \sigma_0$ mit x_0 kleiner wird, der negative Werth wächst, während der positive Ausdruck sich vermindert.

Es ist daher immer vortheilhaft, mit einem Werth von x_1 so gross als möglich zu arbeiten, am besten mit $x_1 = 1$, d. h. mit vollkommen trocken gesättigtem Dampf an der Ausgangsseite des Kompressors. Man sieht, dass es schwer möglich ist, dieser Bedingung auf der Saugseite genau zu entsprechen und dort das richtige Mischungsverhältniss so zu schaffen, dass die Bedingung $x_1 = 1$ auf der Druckseite erfüllt wird. Es entsteht aber in der Praxis auch keine Unannehmlichkeit, wenn der Dampf während der Kompression überhitzt wird.

Einfluss der Temperaturen T_0 und T_1 .

Wenn $x_1 = 1$ ist, so ergibt sich der Werth von x_0 aus der Relation (33) und der Gleichung (42) wie folgt:

$$Q_0 = \frac{V_1}{u_0 x_0 + \sigma_0} \left[r_1 \frac{T_0}{T_1} - (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} - A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right].$$

Dann ist Q_0 nur allein eine Funktion von T_1 und von T_0 .

Vorausgesetzt, man lasse successive jede dieser Temperaturen T_1 und T_0 sich ändern, alles Andere aber fix bleiben.

Wenn T_0 kleiner wird, wächst u_0 , und obwohl der Werth x_0 sich ein wenig mit T_0 verringert, vergrössert sich rasch der Ausdruck $u_0 x_0 + \sigma_0$, wenn die Temperatur T_0 sinkt.

An dem anderen Faktor

$$\left[r_1 \frac{T_0}{T_1} - (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} - A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right]$$

ist leicht zu erkennen, dass er sich ebenso vermindern wird, wie T_0 , weil der positive Theil abnimmt, während der negative Theil wächst.

influss
der Tem-
peraturen.

Der Zähler von Q_0 wird kleiner, der Nenner grösser, woraus folgt, dass die Kälteleistung der Maschine schnell abnimmt, wenn die Temperatur im Refrigerator sinkt.

Dieser charakteristische Zug ist allen Maschinen mit flüchtigen Flüssigkeiten gemeinsam, und stellt einen ihrer Hauptmängel dar.

Wenn man jetzt T_1 sich ändern lässt, während T_0 konstant bleibt, so bleibt auch der Ausdruck $u_0 x_0 + \sigma_0$ nahezu konstant (x_0 vergrössert sich sehr langsam, wenn T_1 kleiner wird).

Am zweiten Faktor

$$\left[r_1 \frac{T_0}{T_1} - (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} - A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right]$$

ist leicht zu erkennen, dass er wächst, wenn T_1 abnimmt, weil sein positiver Theil grösser wird, während sein negativer Theil sich vermindert.

Es werden also die beiden Ausdrücke des Faktors wachsen, der Zähler schneller als der Nenner, so dass die von der Maschine erzeugte Kälteleistung wächst, wenn T_1 abnimmt, aber ziemlich langsam bei den

eisten der Medien, die entfernt von ihrem kritischen Punkte in der Maschine arbeiten.

Die nachstehenden Tafeln stellen Veränderungen der Kälteleistung an auf den Kubikmeter vom Kompressor angesaugten Dampf- und Flüssigkeitsgemisches, für Ammoniak- und Kohlensäuremaschinen, für verschiedene Werthe von t_1 und t_0 .

Von einem Kubikmeter im Kompressor angesaugten Dampf- gemisch erzeugte Kälte.

Indicirte Arbeit für einen im Kompressor angesaugten Kubikmeter.

Temperatur im Re- frigerator ° C.	Ammoniak- maschine		Kohlensäure- maschine	
	t_1	t_1	t_1'	t_1
	= 25° C.	= 15° C.	= 25° C.	= 15° C.
	W. E.	W. E.	W. E.	W. E.
$t_0 = -15$	532	558	1630	2670
- 20	427	449	1340	2240
- 25	343	361	1100	1890
- 30	270	285	905	1580

Temperatur im Refrige- rator ° C.	Ammoniak- maschine		Kohlensäure- maschine	
	Temperatur im Kondensator		Temperatur im Kondensator	
	t_1	t_1	t_1	t_1
	= 25° C.	= 15° C.	= 25° C.	= 15° C.
	kg	kg	kg	kg
$t_0 = -15$	37 600	27 820	269 500	208 300
- 20	35 870	26 670	261 500	208 200
- 25	33 190	25 120	248 200	202 500
- 30	29 780	22 860	235 700	195 100

Diese Tabellen zeigen, dass beim Sinken der unteren Temperatur von -15° bis -30° C. die Kälteleistung fast auf die Hälfte reducirt wird, während die durch den Motor zu beschaffende Arbeit viel weniger empfindlich dadurch beeinflusst wird.

Der Arbeitsaufwand wächst im Allgemeinen mit der Temperatur und dem Druck während des Ansaugens, erreicht sein Maximum, wenn das Temperaturgefälle zwischen Kondensator und Refrigerator unter eine Grenze von etwa 25 oder 30° C. hinabsteigt und vermindert sich dann bis zu Null, wenn die Refrigeratortemperatur gleich der Kondensatortemperatur geworden ist.

In der Praxis, wo das Gefälle $t_1 - t_0$ gewöhnlich über 25° C. ist, kann man sagen, dass die aufgewendete Arbeit immer mit der steigenden Temperatur im Refrigerator sich vermindert, aber dass ihre Veränderungen gering sind. Vergleicht man die Resultate der ersten Tabelle mit denjenigen an Luftmaschinen, so ergibt sich, dass bei gleichem Volumen die Maschinen mit flüchtigen Flüssigkeiten (Ammoniak und Kohlensäure) eine unvergleichlich grössere Kälteleistung liefern, als die Luftmaschinen, und zwar 20 bis 30 mal mehr mit Ammoniak, und auch sehr viel mehr mit Kohlensäure.

Diese Maschinen haben dann viel weniger voluminöse Organe als die Luftmaschinen gleicher Leistung.

Der Vortheil der Kohlensäure in dieser Beziehung über Ammoniak hängt viel von der Kondensatortemperatur ab.

Bei 15° ist die Kälteleistung der Kohlensäure etwa 5 bis 6 mal grösser, bei 25° nur noch 3 mal so gross bei gleichem Volumen der Kompressoren.

Einfluss der schädlichen Räume.

Wenn der Kolben des Kompressors nicht vor sich am Ende seines Hubes irgend einen schädlichen Raum liesse, so würde das angesaugte Dampfgewicht pro Kolbenhub sein:

$$G = \frac{V_1}{u_0 x_0 + \sigma_0}$$

So ist es aber nicht, vielmehr lässt der Kolben stets vor sich einen Raum frei, $a_1 V_1$, welcher am Ende der Kompression erfüllt ist von Dampf von der Spannung p_1 und dem Zustande $T_1 x_1$.

Einfluss
der
schädlichen
Räume.

Wenn der Kolben zurückzugehen beginnt, so schliesst sich das Druckventil, und der in dem schädlichen Raume enthaltene Dampf dehnt sich aus, ohne dass das Saugventil sich öffnet. Die Oeffnung desselben beginnt erst, wenn die Spannung des Dampfes ein wenig unter p_0 angelangt ist.

Stets ganz adiabatische Vorgänge vorausgesetzt, ist die Temperatur gleich T_0 , sobald der Druck p_0 geworden ist, und das Verhältniss des Dampfes in dem Gemisch wird zu:

$$\frac{r_0 x}{T_0} = \frac{r_1 x_1}{T_1} - \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T}$$

Es wird daher x genau gleich x_0 , d. h. die Zusammensetzung und der Zustand des in dem schädlichen Raume eingeschlossenen Dampfgemisches werden ganz dieselben sein, wie diejenigen des angesaugten Gemisches.

Das in dem schädlichen Raume eingeschlossene Dampfgewicht ist:

$$g = \frac{a_1 V_1}{u_1 x_1 + \sigma_1} \dots \dots \dots (43)$$

Das von diesem Dampfgewicht erfüllte Volumen, im Augenblicke wo seine Spannung p_0 geworden ist, wird sein

$$V_m - a_1 V_1 = \frac{u_0 x_0 + \sigma_0}{u_1 x_1 + \sigma_1}$$

Und das Volumen, was durch den Kolben während der Ausdehnung dieses Dampfgemisches beschrieben wurde, wird sein:

$$V_m - a_1 V_1 = a_1 V_1 \frac{u_0 x_0 - u_1 x_1}{u_1 x_1 + \sigma_1} \dots \dots \dots (44)$$

Das Gewicht der im Kompressor bei jedem Kolbenhub wirklich angesaugten Dampfmenge wird daher sein:

$$G = \frac{V_1}{u_0 x_0 + \sigma_0} \left[1 - \alpha_1 \frac{u_0 x_0 - u_1 x_1}{u_1 x_1 + \sigma_1} \right] \dots \dots \dots (45)$$

Es ist leicht zu sehen, dass die indicirte Arbeit im Kompressor pro Kilogramm Flüssigkeit theoretisch nicht hierdurch verändert wird, weil die in dem schädlichen Raume eingeschlossene Dampfmenge genau dieselbe Arbeit während der Expansion leistet, die zu ihrer Kompression aufgewendet werden muss. Das ist a priori klar, weil die Zustände des in dem schädlichen Raume eingeschlossenen Fluidums im Anfang und Ende der Ausdehnung genau dieselben sind, wie diejenigen am Ende und Anfang der Kompression der ganzen Masse.

Aber die Rechnung ermöglicht dies zur Evidenz zu beweisen.

Ein gewöhnliches Diagramm der im Cylinder stattfindenden Wirkungen sei bezeichnet durch die Buchstaben *ABCD*, die Kompressionsarbeit *ABb* hat den Werth

$$L' = \frac{1}{A} \frac{V_1 (1 + \alpha_1)}{u_0 x_0 + \sigma_0} \left[x_1 r_1 - x_0 r_0 - (A p_1 u_1 x_1 - A p_0 u_0 x_0) + q_1 - q_0 \right].$$

Die Arbeit *BCDb* des Hinüberschiebens in den Kondensator hat zum Werth

$$\begin{aligned} L'' &= \frac{V_1}{u_0 x_0 + \sigma_0} \left[1 - \alpha_1 \frac{u_0 x_0 - u_1 x_1}{u_1 x_1 + \sigma_1} \right] \cdot p_1 (u_1 x_1 + \sigma_1) \\ &= V_1 p_1 \frac{u_1 x_1 + \sigma_1}{u_0 x_0 + \sigma_0} \left[1 - \alpha_1 \frac{u_0 x_0 - u_1 x_1}{u_1 x_1 + \sigma_1} \right]. \end{aligned}$$

Die Expansionsarbeit aber hat zum Werth:

$$L''' = \frac{1}{A} \frac{\alpha_1 V_1}{u_1 x_1 + \sigma_1} \cdot [x_1 r_1 - x_0 r_0 - A (p_1 u_1 x_1 - p_0 u_0 x_0) + (q_1 - q_0)].$$

Endlich ist die Ansaugarbeit des Motors:

$$L'''' = p_0 V_1 \left[1 - \alpha_1 \frac{u_0 x_0 - u_1 x_1}{u_1 x_1 + \sigma_1} \right].$$

Die indicirte Arbeit pro Kolbenhub wird sein:

$$\begin{aligned} L &= L' + L'' - L''' - L'''' = \frac{V_1}{u_0 x_0 + \sigma_0} \cdot \left[\varphi - \alpha_1 \frac{u_0 x_0 - u_1 x_1}{u_1 x_1 + \sigma_1} \right] \\ &\cdot [x_1 r_1 - x_0 r_0 + (q_1 - q_0) + A (p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0)] \cdot \frac{1}{A} \dots \dots \dots (46) \end{aligned}$$

Die indicirte Arbeit pro Kilogramm Dampfgemisch ändert sich dadurch nicht und bleibt immer:

$$\frac{1}{A} [r_1 x_1 - r_0 x_0 + (q_1 - q_0) + A (p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0)].$$

Es ist indessen nicht ebenso mit der Kälteleistung der Maschine.

Diese wird dargestellt pro Kolbenhub durch:

$$\begin{aligned} Q_0 &= V_1 \cdot \frac{1}{u_0 x_0 + \sigma_0} \cdot \left[1 - \alpha_1 \frac{u_0 x_0 - u_1 x_1}{u_1 x_1 + \sigma_1} \right] \\ &\cdot \left[r_1 x_1 \frac{T_0}{T_1} = (q_1 - q_0) \frac{T_1 - T_0}{2 T_0} - A (p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right] (47) \end{aligned}$$

7*

Man sieht, dass die Kälteleistung vermindert wird um den Ausdruck

$$1 - \alpha_1 \frac{u_0 x_0 - u_1 x_1}{u_1 x_1 + \sigma_1}$$

Dieser Ausdruck stellt den Vorthheil des theoretischen Volumens des Kompressors dar, gegenüber dem Volumen einschliesslich schädlichem Raume. Es ist leicht zu sehen, dass dieser Vorthheil geringer wird nach Verhältniss der Verminderung der Temperatur T_0 , und dass die schädlichen Räume die Folge haben, die Verminderung der Kälteleistung der Maschine noch zu erweitern, je nachdem die Refrigeratortemperatur niedriger wird.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Werthe dieser Volumenänderung für verschiedene Temperaturen im Kondensator und im Refrigerator.

Temperatur im Refrigerator	Ammoniakmaschine		Kohlensäuremaschine	
	Temperatur im Kondensator		Temperatur im Kondensator	
$t_0 (\alpha_1 = 0.02)$	$t_1 = 25^\circ \text{C. } t_1 = 15^\circ \text{C.}$		$t_1 = 25^\circ \text{C. } t_1 = 15^\circ \text{C.}$	
$t_0 = -15^\circ \text{C.}$	0.948	0.966	0.959	0.974
$t_0 = -25^\circ \text{C.}$	0.913	0.941	0.939	0.960

Der Gewinn an wirklichem Volumen des Kompressors ist in Wirklichkeit geringer. (Die Expansion des in dem schädlichen Raume eingeschlossenen Dampfgemisches geht nämlich nicht adiabatisch vor sich. Da es in Berührung ist mit einer relativ sehr beträchtlichen Wandungs-oberfläche, wird ihm eine gewisse Menge Wärme während der Ausdehnung zugeführt, welche, wenn sie in Arbeit verwandelt wird, die Druckverminderung weniger schnell herbeiführt, und ebenso die Oeffnung des Saugventils verzögert.)

Die Saugventile und besonders die Druckventile schliessen nicht mit mathematischer Präcision, und es kommt oft vor, dass letzteres noch ein wenig geöffnet bleibt, wenn der Rückgang des Kolbens schon begonnen hat. Dies ist, wenn es eintritt, sehr lästig und vermehrt die Wirkung des schädlichen Raumes erheblich. Die Tendenz zu diesem Uebelstande ist um so grösser, je grösser der schädliche Raum ist.

Um dem entgegenzuwirken und ein so promptes Schliessen wie möglich herbeizuführen, erhalten die Ventile nur sehr schwachen Hub. Aber auch das hat seine Grenze, weil daraus folgen könnte, dass die Füllung nicht schnell und prompt genug erfolgt.

Die Verringerung des Volumens hat eine Verringerung der Kälteleistung pro indicirte Pferdekraft zur Folge, denn da die passiven Widerstände sich nicht bemerkbar verändern, so resultirt daraus, dass ihr Einfluss verhältnissmässig grösser wird, wenn das Gewicht der angesaugten Dampfmischung geringer wird.

Auch soll man sie so viel wie möglich vermindern durch Verlängerung des Cylinders in Bezug auf seinen Durchmesser, und soll dem Kolben so viel wie möglich die Form des Cylinderdeckels geben.

In guten Maschinen wird der schädliche Raum sehr klein gemacht, er überschreitet selten 2 Proc. des inneren Cylindervolumens.

In gewissen Maschinen mit Ammoniak und Kohlensäure (alte Maschinen Fixary, Maschinen von de la Vergne und Windhausen) hat man versucht, den schädlichen Raum ganz zu beseitigen, indem man den Kolben am Ende jedes Hubes in ein Oelbad eintreten liess, welches vollständig den Cylinderboden erfüllte, oder indem man den Kolben durch einen flüssigen Glycerinkolben ersetzte. Es ist jedoch zu bemerken, dass die Flüssigkeiten bei den Kompressionsspannungen in starkem Maasse die Dämpfe absorbiren, die sie dann zum Theil bei dem viel geringeren Saugdrucke wieder abgeben, und das hat denselben Erfolg wie ein wirklicher schädlicher Raum. Man geht deshalb auch wieder davon ab. Wenn die Temperatur- und Druckgefälle zwischen Kondensator und Verdampfer sehr gross werden, ist es vorzuziehen, einen Compound-Kompressor anzuwenden, indem man die Kompression in zwei aufeinander folgenden Handlungen bewirkt. Das erlaubt weniger unvortheilhaft zu komprimiren, die Ueberhitzung zu vermindern, und ebenso die Wirkung der schädlichen Räume.

Reibungen und passive Widerstände.

Die Reibungen und andere passive Widerstände haben zur Folge, dass sie in allen Maschinen einen Theil der Betriebskraft absorbiren.

Die Wichtigkeit des Einflusses dieser Reibungen ist natürlich sehr verschieden, je nach der Art und der Konstruktion der Maschine. Man kann im Allgemeinen sagen, dass ihr Einfluss relativ um so grösser ist, je geringer die Spannungen (besonders die Saugspannungen) sind. Ihr relativer Einfluss wird daher in Kohlensäuremaschinen geringer sein, als in Ammoniak- oder Schwefligsäuremaschinen, besonders aber als in Aethermaschinen.

Reibung
und passi
Wider-
stände.

Weiter, für ein und dieselbe Maschine wird er um so grösser sein, wie die Saugtemperatur, d. h. die Refrigeratortemperatur geringer ist.

Dieser relative Einfluss ist immer weniger gross in den Maschinen mit flüchtigen Flüssigkeiten, als in Luftmaschinen, und er ist fast gleich zu setzen demjenigen in gewöhnlichen Dampfmaschinen.

Aber die Vermehrung der Betriebsarbeit ist nicht die einzige Inkonvenienz, welche aus den passiven Widerständen entspringt. Die Reibungen im Innern des Cylinders erzeugen eine gewisse Wärmemenge, welche sie den komprimirten Dämpfen zuführen.

Auch die Kompression der Dämpfe geht nicht vollkommen adiabatisch vor sich. Während der Ansaugung und der Kompression wird eine gewisse Wärmemenge zugeführt, nicht nur von den inneren Reibungen herrührend, sondern auch von den Wärmeausstrahlungen, die sich durch die Cylinderwandungen zwischen der umgebenden Luft und den arbeitenden Dämpfen vollziehen.

Die Temperatur im Innern des Kompressors ist sehr variabel. Sie schwankt zwischen t_0 , der Ansaugtemperatur, und t_1 , der Kompressionstemperatur. Der mittlere Werth t_m der Temperatur ist das Mittel zwischen diesen beiden extremen Werthen und kann wohl bestimmt werden.

Wenn die Maschinen ohne Ueberhitzung arbeiten, liegt diese mittlere Temperatur unterhalb des Gefrierpunktes 0° . Auch kommt es oft vor, dass die Cylinderwände des Kompressors sich mit einem mehr oder weniger dicken Reif bedecken.

Wenn man mit t die umgebende Lufttemperatur bezeichnet und durch S die Oberfläche des Cylinders, so wird die Zahl der Wärmeinheiten, die den komprimirten Dämpfen zugeführt werden, stündlich

$$Q = kS(t - t_m),$$

und wenn bezogen auf das Gewicht der Flüssigkeit, die in derselben Zeit circulirt hat:

$$\frac{Q}{G} = k \frac{S}{G} (t - t_m).$$

Die Kolbenreibung im Innern des Cylinders entwickelt ihrerseits ein e Wärmemenge pro Kilogramm Flüssigkeit, dargestellt durch die Formel:

$$q_f = Aft_0 = Af(u_0x_0 + \sigma_0),$$

worin f ein konstanter Coëfficient ist. Die Formel ist fast unabhängig von der Temperatur, bei welcher die Maschine arbeitet.

Die totale während der Kompression zugeführte Reibungswärme Q_f wird pro Kilogramm Flüssigkeit sein:

$$Q_f = k \frac{S}{G} (t - t_m) + Af(u_0x_0 + \sigma_0) \quad . \quad . \quad . \quad (48)$$

Dieser Werth von Q_f hängt von den Dimensionen der Maschine und von der Natur der benutzten Flüssigkeit ab.

Er vermindert sich mit S , mit k , f , mit $(t - t_m)$ und mit u_0 und im umgekehrten Sinne mit G . Er wird kleiner, je nachdem die benutzte Flüssigkeit weniger flüchtig ist.

Er kann variiren von 2 bis 5 W.E. auf das Kilogramm Flüssigkeit bei Ammoniakmaschinen, oder 1 bis 2 Proc. der erzeugten Kälteleistung.

Sehen wir, welcher Einfluss daraus auf den Betrieb der Maschine entstehen kann.

Weiter vorausgesetzt, dass der übrige Dampf immer gesättigt bleibe, und bezeichne $(x_0 + \mathcal{A}x_0)$ das Dampfverhältniss bei der Ansaugung, soweit

es erforderlich ist, damit dasselbe nach der Kompression x_1 , und zwar dasselbe sei, wie bei adiabatischer Kompression.

Die Kompressionsarbeit pro Kilogramm Flüssigkeit ist dann:

$$L_c = \frac{1}{A} [r_1 x_1 - r_0 (x_0 + \Delta x_0) + (q_1 - q_0) + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) - Q_f] \quad (49)$$

Andererseits hat man die Differentialgleichung

$$dQ_f = dq + Td \frac{xr}{T},$$

woraus wir entwickeln, wenn wir integrieren zwischen T_1 und T_0 :

$$\frac{x_1 r_1}{T_1} - \frac{(x_0 + \Delta x_0) r_0}{T_0} = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dQ_f}{T} - \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T}.$$

Annähernd ist:

$$\int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T} = \frac{q_1 - q_0}{T_1 - T_0} \text{Log} \frac{T_1}{T_0} \quad \text{und} \quad \int_{T_0}^{T_1} \frac{dQ_f}{T} = \frac{Q_f}{T_1 - T_0} \text{Log} \frac{T_1}{T_0}.$$

Der genaue Ausdruck der beiden Integrale wird aber schwer darzustellen sein, denn man kennt nicht die Art, wonach die Wärmemenge Q_f mit der Veränderung der Temperatur T variiert.

Wir folgern dann:

$$(x_0 + \Delta x_0) r_0 = x_1 r_1 \frac{T_0}{T_1} + \frac{T_0}{T_1 - T_0} \text{Log} \frac{T_1}{T_0} [q_1 - q_0 - Q_f] \quad (50)$$

und

$$L_c = \frac{1}{A} \left[r_1 x_1 \frac{T_1 - T_0}{T_0} + (q_1 - q_0 - Q_f) \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_1 - T_0} \text{Log} \frac{T_1}{T_0} \right) + A(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0) \right] \quad (51)$$

Dieser letzte Ausdruck zeigt, dass die Kompressionsarbeit geringer geworden ist, aber dass die Verringerung dargestellt wird durch:

$$\frac{Q_f}{A} \left(1 - \frac{T_0}{T_1 - T_0} \text{Log} \frac{T_1}{T_0} \right),$$

d. h. dass sie sehr gering ist und durchaus vernachlässigt werden kann. Es ist ganz, als wenn die spezifische Wärme der Flüssigkeit zwischen T_1 und T_0 geringer wäre als die Grösse Q_f , welche sehr klein in Bezug auf $q_1 - q_0$ ist.

Die Kälteleistung wird mehr beeinflusst werden. Sie wird vermindert um die Menge $-\Delta x_0 r_0$, und nach der Gleichung sehen wir, dass

$$-\Delta x_0 r_0 = Q_f \frac{T_0}{T_1 - T_0} \text{Log} \frac{T_1}{T_0} \quad (52)$$

ist, oder mit genügender Genauigkeit:

$$-\Delta x_0 r_0 = Q_f \quad (52')$$

Dieses Resultat konnte a priori vorausgesehen werden; man hat in der That nach dem Princip der Aequivalenz die Beziehung

$$Q_1 = Q'_0 + Q_f + AL$$

und wenn Q_f Null ist:

$$Q_1 = Q_0 + AL,$$

weil L nicht erheblich sich ändert. Daher ist

$$Q_0 - Q_0' = Q_f.$$

Die Wärmeausstrahlungen durch die Cylinderwandungen des Kompressors haben dann genau denselben Erfolg, wie alle Kälteverluste nach aussen durch Ausstrahlung der Saugleitungen und der Wandungen des Refrigerators. Sie haben nur zum Resultat die durch die Maschine erzeugte nutzbare Kälteleistung zu vermindern, und haben keinen Einfluss auf die Betriebsarbeit, wenn der Dampf gesättigt bleibt.

Man sieht immer mehr, dass der Verlust, der daraus resultirt, ganz unbedeutend ist.

Füllungsverluste.

füllungs-
verluste.

Die vom Kompressor angesaugte Dampfmenge erleidet in der Saugleitung und bei ihrem Durchgang durch die Saugventile einen Verlust, welcher den Druck und den allgemeinen Zustand beeinflusst.

Studiren wir zuerst die Verluste der Füllung in der Saugleitung, und setzen wir der Einfachheit halber voraus, dass sie so gut isolirt sei, dass keine Wärme durch ihre Wandungen passiren kann.

Sei dp der Füllungsverlust in einem Stück der Leitung vom Widerstande dR . Die Strömungsgeschwindigkeit, die konstant vorausgesetzt sei, nennen wir w , dann haben wir die Relation

$$dp = q(w)dR.$$

Andererseits ist nach dem Carnot'schen Princip die zwischen latenten und Verdampfungswärme und entsprechendem höchsten Druck die Relation:

$$rdt = ATdp.$$

Daraus wird

$$dt = A \frac{T}{r} q(w)dR,$$

und durch Integration zwischen Grenzen von einem Ende der Leitung zum anderen

$$\int T = A \int \frac{T}{r} q(w)dR.$$

Und da T und r sehr wenig sich ändern von einem Ende der Leitung zum anderen, so wird, wenn wir mit T und r die mittleren Werthe bezeichnen:

$$\int T = A \frac{T}{r} \int q(w)dR.$$

$\int q(w)dR$ ist nichts anderes als der Füllungsverlust I in der Leitung, der leicht aus den experimentell gefundenen Formeln herausgezogen werden kann, betreffend die Dampfströmung in den Leitungen.

Es wird dann

$$\Delta T = A \frac{T}{r} I.$$

Andererseits giebt das Princip der Erhaltung der Energie die Differentialgleichung

$$dq + d(rx) + Adp = 0.$$

Seien $r', x', T', p' \dots$ die Grössen, die den Zustand des Dampf-gemisches beim Austritt aus dem Refrigerator bezeichnen, und $r'', x'', T'', p'' \dots$ diejenigen beim Austritt aus der Leitung, so wird durch Integration:

$$(r'x' - r''x'') + q' - q'' + A(p'\sigma' - p''\sigma'') = 0 \quad \dots \quad (53)$$

woraus folgt:

$$r''x'' = r'x' + (q' - q'') + A(p'\sigma' - p''\sigma'') \quad \dots \quad (53')$$

oder, mit genügender Genauigkeit, weil $p'\sigma' - p''\sigma''$ vernachlässigt werden kann, und r' sehr wenig von r'' verschieden ist:

$$x'' = x' + \frac{dq}{dt} T' \cdot \frac{A T' I}{r'^2} \quad \dots \quad (53'')$$

weil $\frac{dq}{dt}$ die spezifische Wärme der Flüssigkeit bei T' ist.

Die Füllungsverluste haben also zur Folge:

1. die Temperatur und den Druck des Gemisches zu verringern, die Betriebsarbeit zu vergrössern;
2. das Dampfverhältniss in dem Gemisch zu vergrössern und daher die Kälteleistung im Refrigerator zu verringern.

Erörtern wir jetzt die Verluste, die in Folge der Strömung durch die Saugventile entstehen.

Es seien

w die Strömungsgeschwindigkeit;

$p_0 T_0 x_0'''$ die Grössen, die den Zustand im Augenblick seines Einströmens darstellen;

$d_0 T_0 x_0$ der Zustand des Gemisches im Innern des Kompressors;

so haben wir die Relation:

$$A \frac{w^2}{2g} = (q'' - q_0) + (x''r'' - x_0''r_0) + A(p''\sigma'' - p_0\sigma_0) \quad \dots \quad (54)$$

Andererseits giebt die Clausius'sche Gleichung, wenn die Expansion sich adiabatisch vollzieht:

$$x_0''r_0 = x''r'' \cdot \frac{T_0}{T''} + (q'' - q_0) \left(1 - \frac{T'' - T_0}{2T_0} \right) \quad \dots \quad (55)$$

Dies in die Gleichung (54) eingesetzt, giebt:

$$A \frac{w^2}{g} = (T'' - T_0) \left[\frac{r''x''}{T''} + \frac{q'' - q_0}{2T_0} + A \frac{p''\sigma'' - p_0\sigma_0}{T'' - T_0} \right] \quad \dots \quad (54')$$

Und da die letzten beiden Ausdrücke in der Parenthese fast vernachlässigt werden können gegen die ersten Ausdrücke, so können wir schreiben:

$$T'' - T_0 = A \frac{w^2}{2g} \cdot \frac{T''}{r'' x''} \dots \dots \dots (54'')$$

In dem Cylinder verliert sich die lebendige Kraft $\frac{w^2}{2g}$ fast vollständig, indem sie sich in Wärme verwandelt, und so die Verdampfung eines neuen Theils der Flüssigkeit herbeiführt: es wird dies dargestellt durch die Gleichung:

$$r_0(x_0 - x''_0) = A \frac{w^2}{2g} = r'' x'' \cdot \frac{T'' - T_0}{T''} \dots \dots \dots (55)$$

Wenn wir mit $\frac{dq}{dt}$ die mittlere spezifische Wärme zwischen T'' und T_0 bezeichnen, so können wir die Gleichung (55) mit ganz genügender Genauigkeit schreiben:

$$x''_0 r_0 = x'' r'' \cdot \frac{T_0}{T''} + \frac{dq}{dt} (T'' - T_0) \dots \dots \dots (55')$$

und

$$\left. \begin{aligned} x_0 r_0 &= x'' r'' + \frac{dq}{dt} (T'' - T_0) \\ x_0 r_0 &= x'' r'' + \frac{dq}{dt} \cdot A \frac{w^2}{2g} \cdot \frac{T''}{r'' x''} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (56)$$

Da r_0 und r'' ausserordentlich wenig für den grössten Theil der Flüssigkeiten in den Umgebungen der im Refrigerator erzeugten Temperaturen von einander abweichen, so werden wir ganz annähernd haben:

$$(x_0 - x'') = A \frac{w^2}{2g} \frac{dq}{dt} \frac{T''}{r'' x''^2} \dots \dots \dots (56')$$

Der Füllungsverlust wird dann noch zur Folge haben eine Vermehrung der Betriebsarbeit, indem der Saugdruck vermindert wird, und auch die Kälteleistung, indem das in dem angesaugten Gemisch vorhandene Dampfverhältniss vergrössert wird. Der Arbeitsverlust ist diejenige Arbeit, die nöthig ist, um das Gemisch vom Druck p_0 auf den Druck p'' zu bringen.

Er ist vom Werthe

$$JL = \frac{1}{A} \frac{r'' x''}{T''} (T'' - T_0) = \frac{w^2}{2g}$$

pro Kilogramm angesaugten Gemisches.

Für ein und denselben Werth von w ist der Verlust proportionell eben so viel grösser, als die angewendete Flüssigkeit flüchtiger ist. Er ist am grössten in den Maschinen mit Kohlensäure.

Wegen noch weiterer theoretischer Erörterungen sei verwiesen auf die Kompressions-Kältemaschinen mit flüchtigen Flüssigkeiten von Gottlieb Behrend (1895) bei Wilh. Knapp in Halle a. S.

Als dann sei hier noch angeschlossen die Berechnung der Grösse des compressors nach Zeuner, Thermodynamik II, S. 448 u. 454, Gleichung (27')

$$L_m = \frac{T_1 - T_0}{T_0} Q_0.$$

Bezeichnet G das Gewicht der Ammoniakmenge in Dampf- und flüssiger Form, welche bei einem Hube angesaugt wird; x_0 die spezifische Dampfmenge der Masse am Ende des Kolbenhubes im Arbeitscylinder C , also im Punkte c_1 des Diagramms I ; x_1 die spezifische Dampfmenge am Ende der Kompression bei b_1 und x_3 die spezifische Dampfmenge im Speisecylinder bei c_2 , so ist das Gewicht der Dampfmenge, welche mit einem Hube in den Verdampfer geschoben wird, Gx_3 , während der Arbeitscylinder die Menge Gx_0 aus dem Verdampfer ansaugt. Es wird dann im Arbeitscylinder die Dampfmenge $G(x_0 - x_3)$ bei dem konstanten Drucke p_0 und der zugehörigen Temperatur t_0 gebildet. Wenn nun r_0 die latente Wärme bei dieser Temperatur ist, so wird die Wärmemenge Q_0 , welche im Verdampfer durch die Verdampfung der umgebenden Salzlösung entogen wird,

$$Q_0 = Gr_0(x_0 - x_3) \dots \dots \dots (57)$$

Der Kolben im Arbeitscylinder schiebt bei einem Hube die Dampfmenge Gx_1 bei konstantem Druck p_1 und der Temperatur t_1 unter vollständiger Kondensation in den Kondensator, und es wird die Wärmemenge

$$Q_1 = Gr_1 x_1 \dots \dots \dots (58)$$

Unter der Voraussetzung, dass die Cylinderwandungen weder Wärme aufnehmen, noch abgeben, dass keine schädlichen Räume sind und der Ammoniakdampf stets trocken gesättigt bleibt, wird die Wärmemenge dQ für unendlich kleine Zustandsänderung

$$dQ = Td\left(\tau + \frac{xr}{T}\right) \text{ oder } -d_q + d(xq) + AdL \dots \dots (59)$$

wobei dL die äussere Arbeit ist, welche der unendlich kleinen Ausdehnung entspricht.*) Die Kompression von b_1 bis c_1 ist adiabatisch, daher $dQ = 0$, und daher die Integration der Gleichung (59)

$$\tau_0 + \frac{x_0 r_0}{T_0} = \tau_1 + \frac{x_1 r_1}{T_1} \dots \dots \dots (60)$$

Im Speisecylinder ist die Expansion von b_2 nach c_2 ebenfalls adiabatisch, und da $x = 0$ im Anfange ist, weil aus dem Kondensator nur Flüssigkeit austritt, so wird

$$\tau_0 + \frac{x_3 r_0}{T_0} = \tau_1 \dots \dots \dots (61)$$

*) Zeuner, Thermodynamik II. S. 48 und 52.

Aus Gleichung (60) und (61) lassen sich dann x_1 und x_3 aus dem Werthe x_0 und den Grenztemperaturen berechnen. Subtrahirt man die letzten beiden Gleichungen, so wird

$$\frac{(x_0 - x_3)r_0}{T_0} = \frac{x_1 r_1}{T_0} \dots \dots \dots (62)$$

Durch Verbindung mit den beiden Formeln (57) und (58) folgt die Formel für den Carnot'schen Kreisprozess

$$\frac{Q_0}{Q_1} = \frac{T_0}{T_1} \dots \dots \dots (63)$$

(siehe diesen). Die Arbeit L_0 bei jedem Hube des Arbeitscyinders oder Kompressors C lässt sich folgendermaassen feststellen:

Das Volumen des Kompressors C ist

$$V_0 = G(x_0 u_0 + \sigma) \dots \dots \dots (64)$$

und das Volumen am Ende der Kompression

$$V_1 = G(x_1 u_1 + \sigma) \dots \dots \dots (65)$$

Die Arbeit, welche beim Ansaugen gewonnen wird, ist dann $Gp_0(x_0 u_0 + \sigma)$, und die Arbeit, welche bei dem konstanten Druck p_1 zum Hinüberschieben in den Kondensator aufgewandt wird, $= Gp_1(x_1 u_1 + \sigma)$, während die beim Komprimiren aufgewendete Arbeit nach Gleichung (59) und wenn $dQ=0$

ist, sich nach der Integration ergibt zu $\frac{G}{A}(q_1 - q_0 + x_1 e_1 - x_0 e_0)$.

Die ganze Arbeit im Kompressor ist dann, da $r = q + A p u$ (gesammte latente Wärme = innere + äussere latente Wärme)

$$AL_0 = G[q_1 - q_0 + x_1 r_1 - x_0 r_0 + A\sigma(p_1 - p_0)] \dots \dots (66)$$

Dagegen wird im Speisecylinder gewonnen beim Uebertreten der Flüssigkeit aus dem Kondensator die Arbeit $G\sigma p_1$, ferner durch die Expansion die Arbeit $\frac{G}{A}(q_1 - q_0 - x_3 e_0)$. Aufgewendet wird aber die Arbeit, welche erforderlich ist zum Hinüberschieben der Masse in den Verdampfer, welche sich darstellt als $Gp_0(x_3 u_0 + \sigma)$.

Im Ganzen wird daher die Arbeitsleistung im Speisecylinder

$$AL_1 = G[q_1 - q_0 - x_3 r_0 + A\sigma(p_1 - p_0)] \dots \dots (67)$$

Die gesammte Arbeit für einen Hub der vollkommenen Maschine ist daher

$$AL_m = G[x_1 r_1 - (x_0 - x_3)r_0] \dots \dots \dots (68)$$

weil $L_m = L_0 - L_1$.

Unter Berücksichtigung der Gl. (57) und (58) wird dann $AL_m = Q_1 - Q_0$ und nach Gleichung (63)

$$AL_m = \frac{Q_0}{T_0}(T_1 - T_0) \dots \dots \dots (69)$$

d. h. die Gleichung des Carnot'schen Kreisprozesses.

Um diese für einen Hub aufgestellte Gleichung auf den Arbeitsaufwand pro Sekunde zu bringen, muss Q_0 durch Q_s , die Kälteleistung

pro Sekunde, ersetzt werden, oder es ergibt sich der Arbeitsaufwand in Pferdestärken

$$Nm = \frac{Q_s}{75 \cdot A \cdot T_0} (T_1 - T_0) \dots \dots \dots (70)$$

Die Grösse des Kompressors und Speisecylinders lässt sich nun auch, wie folgt, berechnen:

In der Gleichung (28'') $V_0 = G(x_0 u_0 + \sigma)$ ist das Volumen des Kompressors schon angegeben. Da aber σ , das spezifische Volumen der Flüssigkeit, sehr klein ist, so kann man schreiben $V_0 = G x_0 u_0$.

Da aber $Q_0 = G r_0 (x_0 - x_3)$ ist, so wird durch Division

$$V_1 = \frac{Q_0}{\frac{r_0}{u_0} \left(1 - \frac{x_3}{x_0}\right)} \dots \dots \dots (71)$$

Grössen-
berechnung
des Kom-
pressors.

Das Volumen des Speisecylinders folgt aus der Gleichung $V_1 = G x_3 u_0$ und der Gleichung (58) zu $\frac{V_1}{V_0} = \frac{x_3}{x_0}$, so dass sich V_1 aus V_0 berechnen lässt, wenn sie gleiche Hubzahlen in der Zeiteinheit haben. Andernfalls muss noch dieses Verhältniss berücksichtigt werden.

Ist F der Kolbenquerschnitt, s der Kolbenhub des Kompressors bei n Umdrehungen pro Minute, so ist $V_0 = F s$; die Wärmemenge Q_s , welche pro Sekunde im Verdampfer entzogen wird, $Q_s = \frac{2 Q_0 n}{60}$ bei doppeltwirkendem Cylinder.

Nach Gleichung (71) ist dann

$$\frac{F \cdot s \cdot n}{30} = \frac{Q_s}{\frac{r_0}{u_0} \left(1 - \frac{x_3}{x_0}\right)}$$

oder wenn der Werth x_3 aus Gleichung (61) eingeführt wird

$$= \frac{Q_s}{\frac{r_0}{u_0} \left(1 - \frac{T_0(\tau_1 - \tau_0)}{x_0 r_0}\right)} \dots \dots \dots (72)$$

Da in dieser Gleichung die Funktionen r_0 ; u_0 ; τ_0 für die verschiedenen Dämpfe verschieden sind, so werden die Cylinderdimensionen ebenfalls für jede Dampfart andere sein. Aus den nachfolgenden Zeuner'schen Tabellen XV bis XVIII für verschiedene Dämpfe gehen diese Grössen hervor, so dass die Berechnung der Cylinderdimensionen mit deren Hülfe vorgenommen werden kann.

Um an einem Beispiel die Rechnung des Effekts der theoretisch vollkommenen Kompressionsmaschine zu machen, seien die Verhältnisse der auf Seite 50 berechneten Absorptionsmaschine angenommen, im Kondensator $t_1 = +27^\circ$ und $p_1 = 10,6$; im Verdampfer $t_0 = -14^\circ$; $p_0 = 3,0$ kg.

Systematischer Unterschied der Verdampfungsmaschinen.

Tabolle XV. Gesättigte Dämpfe von Ammoniak.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	1.
Temp- ratur Celsius t	Dampfspannung Atmo- sphären Linn. = auf 1 qm p in kr	$\frac{dp}{p dt}$	$r = A T \frac{dp}{dt}$	Flüssig- keits- wärme q	Latente Wärme Apu	Wärme innere q	Latente Wärme Gesamte r	r	$\tau = \int \frac{cdt}{T}$	u	Spezifisches Volumen $v = u + \sigma$ (in -0,001 q) / Kubprohm.	Gewicht $\gamma = \frac{1}{v}$	Temp- ratur Celsius t	
-40	0,695	7187	0,052945	207,92	-39,792	27,097	305,94	333,04	1,4293	-0,1331	1,5896	1,6902	0,595	40
-35	0,900	9302	0,050564	264,02	-30,301	27,532	301,07	331,60	1,3932	-0,1183	1,2749	1,2565	0,799	35
-30	1,153	11800	0,048666	331,72	-26,600	27,955	301,96	329,91	1,3576	-0,1029	0,9945	0,9961	1,061	30
-25	1,463	15085	0,046817	412,55	-22,691	28,367	299,62	327,99	1,3226	-0,0870	0,7954	0,7960	1,229	25
-20	1,839	19004	0,044803	508,05	-18,571	28,766	297,07	325,84	1,2889	-0,0706	0,6415	0,6434	1,554	20
-15	2,291	23670	0,041332	619,80	-14,243	29,154	294,30	323,45	1,2536	-0,0536	0,5222	0,5238	1,970	15
-10	2,828	29227	0,041332	749,31	-9,705	29,531	291,29	320,82	1,2198	-0,0362	0,4284	0,4300	2,322	10
-5	3,464	35789	0,039699	898,01	-4,957	29,895	288,07	317,96	1,1861	-0,0183	0,3532	0,3558	2,551	5
0	4,207	43475	0,038130	1067,34	0,000	30,248	284,61	314,86	1,1533	0,0000	0,2956	0,2982	2,575	0
+5	5,072	52406	0,036623	1258,42	+5,166	30,589	280,94	311,53	1,1206	0,0154	0,2475	0,2501	2,574	-5
+10	6,069	62710	0,035175	1472,31	+10,542	30,918	277,01	307,96	1,0882	0,0309	0,2086	0,2112	2,554	-10
+15	7,211	74507	0,033785	1709,85	+16,128	31,236	272,92	304,16	1,0561	0,0455	0,1774	0,1800	2,524	-15
+20	8,509	87923	0,032450	1971,63	+21,923	31,542	268,58	300,12	1,0243	0,0593	0,1522	0,1548	2,506	-20
+25	9,976	103078	0,031168	2258,01	+27,927	31,836	264,60	295,84	0,9929	0,0727	0,1329	0,1355	2,505	-25
+30	11,622	120089	0,029936	2569,07	+34,141	32,118	260,21	291,33	0,9615	0,0854	0,1173	0,1199	2,506	-30
+35	13,458	139064	0,028753	2904,59	+40,564	32,388	255,19	286,58	0,9304	0,0974	0,1047	0,1073	2,509	-35
+40	15,495	160107	0,027617	3264,99	+47,196	32,647	249,95	281,99	0,8997	0,1087	0,0936	0,0962	2,507	-40
+45	17,740	183307	0,026525	3646,66	+54,038	32,894	243,89	276,95	0,8694	0,1185	0,0832	0,0858	2,509	-45
+50	20,203	208758	0,025477	4051,90	+61,090	33,129	237,99	271,95	0,8394	0,1277	0,0736	0,0762	2,509	-50
+55	22,889	236512	0,024470	4477,05	+68,351	33,353	231,885	266,928	0,8097	0,1364	0,0644	0,0670	2,509	-55
+60	25,806	266653	0,023503	4837,72	+75,821	33,565	225,767	261,832	0,7804	0,1446	0,0556	0,0582	2,509	-60
+65	28,956	299202	0,022574	5234,24	+83,501	33,765	219,427	256,192	0,7514	0,1523	0,0470	0,0496	2,509	-65
+70	32,343	334200	0,021692	5638,31	+91,391	33,952	212,891	250,651	0,7229	0,1595	0,0382	0,0408	2,509	-70

* Von 45° an vom Verfasser berechnet.

Tabelle XVI. Gesättigte Dämpfe von schwefliger Säure.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	1.
Temperatur Celsius t	Dampfspannung Atmo- sphären 1 Atm. = 10333 kg	$\frac{p}{\rho}$ in kg auf 1 qm	$\frac{dp}{p dt}$	$r = \Delta T \frac{dp}{dt}$ u	Flüssig- keits- wärme q	Latente Wärme Aussere Aptt	Innere ϕ	Latente Wärme Gesamte r	$\frac{r}{T}$	$\tau = \int_0^t \frac{cdt}{T}$	u	Specificsches Volumen $v = u + \sigma$ (σ = 0,0007) kg pro cbm	Gewicht $\gamma = \frac{1}{v}$ kg pro cbm	Tempe- ratur Celsius t
-40	0,215	2222	0,059634	72,83	—	3,834	89,266	96,100	0,4124	—	0,0386	1,1027	0,907	-40
-35	0,287	2912	0,056508	94,23	—	7,089	88,989	96,078	0,4037	—	0,0358	1,0124	0,988	-35
-30	0,379	3912	0,053646	120,23	—	8,361	88,566	95,887	0,3946	—	0,0323	0,7934	1,259	-30
-25	0,492	5082	0,051019	151,65	—	7,367	87,998	95,528	0,3852	—	0,0282	0,6289	1,590	-25
-20	0,631	6519	0,048599	189,03	—	6,213	87,284	95,000	0,3755	—	0,0236	0,5019	1,990	-20
-15	0,800	8265	0,046364	232,63	—	4,900	86,424	94,303	0,3655	—	0,0186	0,4042	2,470	-15
-10	1,003	10367	0,044295	284,83	—	3,426	85,418	93,437	0,3553	—	0,0128	0,3280	3,042	-10
-5	1,246	12874	0,042373	344,81	—	1,793	84,267	92,403	0,3448	—	0,0066	0,2680	3,722	-5
0	1,533	15840	0,040583	413,90	—	0,000	82,970	91,200	0,3341	—	0,0000	0,2104	4,737	0
+5	1,870	19322	0,038911	492,93	+	1,953	81,527	89,828	0,3231	+	0,0071	0,1822	5,467	+5
+10	2,263	23379	0,037346	582,76	+	4,066	79,938	88,287	0,3120	+	0,0147	0,1514	6,575	+10
+15	2,717	28074	0,035877	684,18	+	6,338	78,204	86,578	0,3006	+	0,0226	0,1265	7,862	+15
+20	3,239	33474	0,034495	797,91	+	8,771	76,324	84,700	0,2891	+	0,0310	0,1061	9,363	+20
+25	3,837	39644	0,033192	924,83	+	11,363	74,288	82,653	0,2773	+	0,0398	0,0895	11,086	+25
+30	4,515	46655	0,031960	1065,58	+	14,115	72,126	80,437	0,2655	+	0,0490	0,0755	13,123	+30
+35	5,283	54579	0,030794	1220,88	+	17,027	69,809	78,053	0,2534	+	0,0585	0,0640	15,456	+35
+40	6,145	63487	0,029688	1391,45	+	20,099	67,346	75,500	0,2412	+	0,0684	0,0545	18,116	+40
+45	7,103	73395	0,028637	1576,23	+	23,331	64,737	72,776	0,2289	+	0,0787	0,0461	21,368	+45
+50	8,182	84549	0,027636	1774,67	+	26,723	61,983	69,888	0,2164	+	0,0893	0,0394	24,938	+50
+55	9,372	96841	0,026681	1998,73	+	30,274	59,082	66,828	0,2037	+	0,1002	0,0334	29,326	+55
+60	10,709	110656	0,025770	2239,63	+	33,985	56,036	63,000	0,1910	+	0,1114	0,0284	34,364	+60
+65	12,128	125379	0,024899	2488,61	+	37,856	52,844	60,203	0,1782	+	0,1230	0,0242	40,161	+65
+70	13,702	141583	0,024064	2756,17	+	41,887	49,507	56,638	0,1651	+	0,1348	0,0205	47,170	+70

* Von 45° an vom Verfasser berechnet.

1. Temperatur Celsius	2. Dampfspannung Atmosphären auf 1 qm = 10333 kg	3. Dampfspannung Kilogramm auf 1 qm	4. Flüssigkeitswärme q	5. Aeusserer Atmosphärendruck p_{atm}	6. Innere Wärme Q	7. Gesammte Wärme r	8. r	9. $\tau = \int \frac{dq}{T}$	10. u	11. Spezifisches Flüssigkeitsvolumen σ	12. Spezifisches Dampf Volumen $r - u - \sigma$	13. Spec. Gewicht $\gamma = \frac{1}{\sigma}$ in $\frac{1}{\text{Kilogramm}}$	1. Temperatur Celsius
+ 30	14,656	151,441	15,88	0,12	59,98	69,10	0,2844	-0,0612	0,02553	0,00085	0,02648	37,76	- 30
- 25	17,114	176,844	14,34	8,98	59,25	68,23	0,2731	-0,0549	0,02153	0,00089	0,02252	44,40	- 25
- 20	19,924	205,877	12,36	8,79	58,06	66,85	0,2642	-0,0469	0,01811	0,00103	0,01914	52,25	- 20
- 15	23,137	239,052	9,94	8,55	56,42	64,97	0,2518	-0,0374	0,01517	0,00107	0,01624	61,58	- 15
- 10	26,763	276,546	7,07	8,27	54,31	62,58	0,2379	-0,0264	0,01268	0,00111	0,01379	72,52	- 10
- 5	30,843	318,710	3,76	7,94	51,74	59,68	0,2227	-0,0139	0,01056	0,00115	0,01171	85,40	- 5
0	35,403	365,823	0,00	7,56	48,72	56,28	0,2061	0,0000	0,00876	0,00119	0,00995	100,60	0
+ 5	40,465	418,130	4,20	7,13	45,23	52,36	0,1884	+0,0152	0,00723	0,00123	0,00846	118,20	+ 5
+ 10	45,945	474,749	8,85	6,65	41,29	47,94	0,1694	+0,0318	0,00594	0,00127	0,00721	138,70	+ 10
+ 15	52,167	529,041	13,93	6,12	36,89	43,01	0,1494	+0,0496	0,00482	0,00131	0,00613	163,13	+ 15
+ 20	58,837	607,969	19,47	5,55	32,03	37,58	0,1283	+0,0686	0,00387	0,00135	0,00522	191,57	+ 20

Tabelle XVII. (gesättigte Dämpfe von Kohlensäure.

Nach Tab. XV sind dann für die obigen Temperaturen

$$\frac{r_0}{T_0} = 1,2468; \quad \frac{r_1}{T_1} = 0,9790; \\ \tau_0 = 0,0502; \quad \tau_1 = 0,1060.$$

Ist nun die spec. Dampfmenge bei Beginn des Ansaugens im Kompressor $x_0 = 0,90$, so ist nach Gleichung (60) die spec. Dampfmenge am Ende der Kompression $x_1 = 0,98$, d. h. während der Kompression findet Verdampfung statt, und der Dampf würde überhitzt, falls er vorher trocken gesättigt, x_0 , gewesen wäre. Nach Gleichung (61) wird x_3 , die spezifische Dampfmenge am Ende der Expansion, im Speisecylinder zu $x_3 = 0,1246$.

Da nach Tabelle XV $v_0 = 645,70$ ist, so ergibt sich nach Gleichung (72)

$$F \cdot s \cdot n = \frac{Q_s}{30} = \frac{645,70 \left(1 - \frac{0,1264}{0,90}\right)}{0,001798} Q_s \\ \text{Nach Gleichung (70) ist} \\ Nm = \frac{Q_s \cdot 41}{75 \cdot \frac{1}{424} \cdot 300} = 0,7726 Q_s.$$

Soll die Maschine, wie bei dem früheren Beispiel, dem Salzwasser 106534 W. E. stündlich entziehen, so ist

$$Q_s = \frac{106534}{3600} = 29,583.$$

Wenn die Maschine, wie üblich, 60 Touren in der Minute

macht, so ist $F_s = 0,02660$ cbm und die erforderliche Arbeit $Nm = 22,86$ Pferdekraft, d. h. in dem früheren Beispiel pro Pferdekraft und Stunde 43,7 kg Eis.

Angenommen, dass die Betriebsdampfmaschine pro Pferdekraft und Stunde 12 kg Wasserdampf gebrauche, so würde die Leistung pro Kilogramm Wasserdampf 3,64 kg Eis oder 387,8 W.E. sein.

Uebrigens rechnet man gewöhnlich zur Erzeugung von 1 kg Eis nicht wie hier 106,534 W.E., sondern nur 100 W.E., wodurch pro Pferdekraft und Stunde $\frac{106,534}{22,86} = 46,6$ kg Eis erzeugt werden könnten nach

rein theoretischen Erwägungen. Bei etwas geringerer Temperaturdifferenz $T_1 - T_0$, nämlich bei den Grenztemperaturen $+ 20^\circ$ und $- 15^\circ$, steigert sich die Leistung schon auf 47 kg Eis pro Pferdekraft. Je mehr diese Differenz verringert werden kann, also z. B. bei Abkühlung von Süßwasser, desto mehr steigert sich der Effekt. Bei wirklich ausgeführten Maschinen muss das Resultat wegen der verschiedenartigsten Verluste natürlich geringer sein, und stellt das berechnete Resultat die Maximalleistung dar. Wenn man aber den theoretischen Effekt der Absorptionsmaschinen und der Kompressionsmaschinen miteinander vergleichen will, so würde man etwa die Zahlen 250 und 387,8 W.E. pro Kilogramm Dampf gegenüberstellen müssen. Den Fall angenommen, dass die Betriebsdampfmaschine von bester Konstruktion sei, mit einem Dampfverbrauch von 6,5 kg pro Pferdekraft und Stunde, so würde die theoretische Leistung pro Kilogramm Wasserdampf sogar bis 716 W.E. anwachsen.

Ein sehr wesentlicher Grund der grösseren effektiven Leistung der Kompressionsmaschinen gegenüber den Absorptionsmaschinen liegt noch in dem Umstande, dass bei ersteren die Arbeit in Wärme verwandelt wird, was ohne weitere Wärmeverluste möglich ist, während bei den Absorptionsmaschinen von der zugeführten Wärme sehr viel durch Ausstrahlung und Leitung verloren geht.

Hier sei noch hingewiesen auf die von Prof. Dr. Mollier in der Zeitschrift für die gesammte Kälteindustrie 1895 Seite 91 veröffentlichte revidirte Tabelle über Ammoniak (Tabelle XV), deren Entwicklung dort nachzulesen ist. Der Unterschied zwischen dieser Tabelle XVIII und obiger Tabelle XV wird sich bei Vergleich ergeben.

Die naturgemässen Verluste an ausgeführten Kältemaschinen (Kaldampfmaschinen) werden dann in Zeuner's Thermodynamik weiter entwickelt. Ganz besonders zu beachten ist der Verlust, welcher durch Weglassen des Speisecylinders entsteht. Der Arbeitsgewinn desselben war in dem Schema der vollkommenen Maschine Fig. 15 durch das Diagramm II dargestellt, dessen Inhalt von dem des Diagramms I abgezogen werden muss, um den Arbeitsverbrauch der vollkommenen Maschine festzustellen.

Tabelle XVIII über gesättigte Dämpfe von Ammoniak.

1.	3.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	1.
Temperatur $t^{\circ}\text{C.}$	Dampfspannung p in kg auf 1 qm	Flüssigkeits- wärme q Cal.	Außen- latente Wärme Cal.	Innere latente Wärme q' Cal.	Latente Wärme Gesamtwärme r Cal.	r \bar{T}	τ	u $=v-\sigma$ obm/kg	Volumen $v=u+\sigma$ ($\sigma=0,0016$)	Temperatur $t^{\circ}\text{C.}$
-40	0,72	-33,36	27,1	305,6	332,7	1,428	-0,132	1,600	1,602	-40
-35	0,93	-20,48	27,6	304,2	331,8	1,394	-0,116	1,256	1,257	-35
-30	1,10	-25,51	28,0	302,6	330,6	1,361	-0,099	0,997	0,998	-30
-25	1,51	-21,47	28,5	300,6	329,1	1,327	-0,083	0,798	0,800	-25
-20	1,80	-17,34	28,9	298,3	327,2	1,293	-0,066	0,644	0,646	-20
-15	2,37	-13,13	29,3	295,6	324,9	1,259	-0,050	0,524	0,525	-15
-10	2,92	-8,83	29,7	292,6	322,3	1,226	-0,033	0,430	0,432	-10
-5	3,58	-4,47	30,0	289,4	319,7	1,192	-0,017	0,356	0,358	-5
0	4,35	0	30,4	285,7	316,1	1,158	0	0,296	0,298	0
+5	5,24	+4,54	30,7	281,8	312,5	1,124	+0,017	0,248	0,250	+5
+10	6,27	+9,17	31,0	277,6	308,6	1,090	+0,033	0,210	0,211	+10
+15	7,45	+13,87	31,3	273,1	304,4	1,057	+0,050	0,178	0,180	+15
+20	8,79	+18,06	31,5	268,4	299,9	1,023	+0,066	0,152	0,154	+20
+25	10,31	+23,53	31,7	263,3	295,0	0,989	+0,083	0,131	0,132	+25
+30	12,01	+28,40	31,9	257,8	290,7	0,956	+0,100	0,113	0,114	+30
+35	13,91	+33,52	32,1	252,9	284,0	0,922	+0,116	0,098	0,099	+35
+40	16,01	+38,64	32,3	245,8	278,0	0,888	+0,132	0,087	0,087	+40

Der durch den Speisecylinder, d. h. durch die Ueberführung der kondensirten Flüssigkeit des Kondensators von hoher Spannung in die niederen des Verdampfers und Uebertragung der überschüssigen Spannung unter Arbeitsleistung auf den Kolben des Speisecylinders, erlangte Arbeitsgewinn ist bei den verschiedenen Dämpfen verschieden, herrührend aus den verschiedenen Spannungen, Flüssigkeits- und Verdampfungswärmen u. s. w. Die speciellere Entwicklung dieser, wie der weiteren unvermeidlichen Verluste ist in Zeuner's Thermodynamik nachzulesen. Sie führt bei Maschinen ohne Speisecylinder zu der Gleichung:

$$AL = G[q_1 - q_0 + x_1 r_1 - x_0 r_0 + A\sigma(p_1 - p_0)] \dots (73)$$

woraus sich dann die Gleichung für die erforderlichen Pferdekräfte

$$N = \frac{Q_s[r_1 x_1 - r_0(x_0 - x_4)]}{75 A r_0(x_0 - x_4)} \dots (74)$$

ergiebt, worin x_4 die im Verdampfer wirklich vorhandene spezifische Kaldampfmenge darstellt. Das Volumen des Kompressors berechnet sich dann nach der entsprechend umgeformten Gleichung (72) zu

$$\frac{F \cdot s \cdot n}{30} = \frac{Q_s}{\frac{r_0}{u_0} \left[1 - \frac{q_1 - q_0 + A\sigma(p_1 - p_0)}{x_0 r_0} \right]} \dots (75)$$

Aus den einzelnen Werthen der Gleichungen geht nun hervor, dass die Betriebskraft N sowohl, wie die Kompressordimensionen für die verschiedenen Dämpfe verschieden sein müssen. Durch Einsetzen der in den Tabellen XV bis XVII angegebenen entsprechenden Werthe können für jeden Dampf diese Grössen festgestellt werden.

Die nachfolgende Zeuner'sche Tabelle XIX, welche für $+20^\circ$ im Kondensator und -15° im Verdampfer, sowie für $x_0 = 0,90$ berechnet ist, giebt darüber ein treffendes Bild.

Aus den Zeilen 5 und 8 ist die Verschiedenheit der Betriebskraft, welche erforderlich ist, und des Wirkungsgrades der verschiedenen Dämpfe zu erkennen. Es geht daraus hervor, dass die verschiedenen Kältemaschinen, wie sie jetzt durchgängig gebaut werden, nämlich ohne Speisecylinder bei den Grenztemperaturen $+20^\circ$ und -15° , folgende Effektverluste haben müssen:

Ammoniakmaschinen	7,8 Proc.
Schweflige Säure-Maschinen	9,7 „
Aethermaschinen	13,1 „
Kohlensäuremaschinen	47,8 „

Es ist schon erwähnt, dass Aether die niedrigen Spannungen 0,1214 und 0,5885 absolute Atmosphären in Verdampfer und Kondensator, schweflige Säure 0,8265 im Verdampfer besitzen, wodurch das Eindringen von Luft in die Maschinen unvermeidlich ist. Kohlensäure hat die hohen Spannungen von 23,9 resp. 60,8 Atmosphären und den oben erwähnten

Tabelle XIX.

		Aether	Schweflige Säure	Ammoniak	Kohlensäure
1. Druck im Verdampfer in kg pr. qcm . . .	$p_0 =$	0,1214	0,8268	2,3670	23,9052 kg
2. Druck im Kondensator in kg pr. qcm	$p_1 =$	0,5885	3,3474	8,7923	60,7969 kg
3. Spec. Dampfmenge im Kompressor am Ende des Hubes . . .	$x_1 =$	0,840	0,966	0,973	0,940
4. Spec. Dampfmenge der Flüssigkeit im Verdampfer . . .	$x_2 =$	0,196	0,145	0,113	0,469
5. Pferdekräfte . . .	$N =$	0,883 Q_s	0,849 Q_s	0,832 Q_s	1,476 Q_s
6. Inhalt des Kompressors in cbm . . .	$F \cdot s \cdot n$				
7. Dem Kondensator zu entziehende Wärmemenge	30	0,03392 Q_s	0,00515 Q_s	0,00184 Q_s	0,00049 Q_s
8. Wirkungsgrad . . .	$Q_1 =$	1,156 Q_s	1,150 Q_s	1,147 Q_s	1,261 Q_s
9. Effektverlust . . .	$\eta =$	0,869	0,903	0,922	0,522
10. Theoretische Pferdekräfte	$\zeta =$	0,131	0,097	0,078	0,478
	$N_m =$	0,767 Q_s	0,767 Q_s	0,767 Q_s	0,767 Q_s

grossen Effektverlust, so dass aus obiger Tabelle unzweideutig hervorgeht, dass Ammoniak und schweflige Säure die für Kältemaschinen geeignetsten Dämpfe sind. Auf das, was für Kohlensäure geltend gemacht wird, kommen wir noch zurück. Jedenfalls müsste bei ihrer Anwendung ein Speisecylinder angebracht werden, um die grossen Verluste einigermaassen einzuholen. Es bleibt dann für ihre Anwendung, abgesehen von den ausserordentlich hohen Spannungen, immer noch der grössere Kühlwasserverbrauch im Kondensator 1.261 Q_s gegen 1,147 bei Ammoniak, d. h. etwa 10 Proc. mehr, bestehen.

Verluste
bei
Kohlen-
säure-
maschinen.

Der auf Seite 91 und 113 erwähnte Verlust durch Weglassung des Speisecylinders bei Kompressionsmaschinen wird klarer durch Betrachtung des Diagramms über den Carnot'schen Kreisprozess auf Seite 61, Fig. 15. Derselbe besteht aus vier Gliedern. Erstens von *A* bis *D* Wärme-Aufnahme der expandirten Kaltdämpfe im Verdampfer aus der Salzlösung, zweitens von *D* bis *C* Wärme-Aufnahme durch die Kompression der Dämpfe mittels Betriebskraft, drittens Wärme-Abgabe von *C* bis *B* an das Kühlwasser im Kondensator, und nun soll viertens von *B* bis *A* Wärme-Abgabe durch Erzeugung von Betriebskraft bei Uebergang der Flüssigkeit aus dem Kondensator in den Verdampfer erfolgen durch Erniedrigung der Flüssigkeit von der Kondensatortemperatur auf die Verdampfer Temperatur, d. h. durch Verwandlung dieser Temperaturdifferenz in Arbeitsleistung.

Dieses Glied fehlt bei den ausgeführten Kompressionsmaschinen, indem nur ein Regulirventil eingeschaltet ist. Die Abgabe der Flüssigkeitswärme erfolgt daher im Verdampfer und vermindert den Kälteeffekt, weil so viel weniger Wärme aus dem Salzwasser aufgenommen wird, als Flüssigkeitswärme zugeführt wurde. Die Verdampfungswärme r und die Flüssigkeitswärme q sind nun bei jedem Dampfe anders, und auch das Verhältniss beider ist bei verschiedenen Temperaturen verschieden. Es kommt daher offenbar darauf an, den richtigen Dampf zu wählen, denn die Differenzen zwischen r und q sind unter Umständen so gering, dass der Kälteeffekt fast ganz verschwindet.

Die Einschaltung eines Speisecylinders zum Gewinn der Flüssigkeitswärme q durch Umwandlung in Arbeitsleistung hat aber bis jetzt noch keinen Erfolg gehabt, wird einen solchen auch kaum für die Folge haben, weil es nicht zu vermeiden ist, in ihm bereits Verdampfung zu bekommen.

Wird z. B. die Anfangstemperatur zu $+20^\circ$, die Endtemperatur zu -10° angenommen, so ist für

	Schwefl. Säure	Ammoniak	Kohlensäure
die latente Wärme r bei -10° C.	93,4	320,8	64,3
die Flüssigkeitswärme q mehr bei $+20^\circ$ als bei -10° C.	12,2	31,6	30,75
Verlust in Procenten	13	9,8	47,8

Bei $+30^\circ$ Anfangs- und -10° Endtemperatur aber

	Schwefl. Säure	Ammoniak	Kohlensäure
die latente Wärme r bei -10° C.	93,4	320,8	64,3
die Flüssigkeitswärme q mehr bei $+30^\circ$ als bei -10° C.	17,5	43,8	54,96
Verlust in Procenten	18,7	13,6	85,5

Kohlensäure verliert also bei Kühlwasser von 30° schon 85,5 Proc., während Ammoniak nur 13,6 Proc. verliert. Der Grund liegt in dem starken Wachsen der Flüssigkeitswärme q gegenüber der Verdampfungswärme r . Bei der kritischen Temperatur derselben, $+31^\circ$, wird die Differenz 0, die Kohlensäure wird überhaupt nicht mehr flüssig*), bleibt im Zustande eines permanenten Gases, und behält auch nur die Leistung eines solchen, d. h. die der Luftmaschine.

Die kritische Temperatur der schwefligen Säure liegt erst bei $+135^\circ$, die des Ammoniaks bei $+156^\circ$.

Uebrigens stellt sich in Wirklichkeit der Verlust doch etwas günstiger, wie sich später an angestellten Versuchen ergeben wird.

*) Zeuner, Thermodynamik II, S. 198.

Konstruktion der Kälteerzeugungs-Maschinen.

Verdampfungsmaschinen mit Absorptionsapparat.

In Deutschland werden die Carré'schen Ammoniakmaschinen vorzugsweise von den Firmen Hallesche Maschinenbau-Anstalt, vorm. Vaass & Littmann in Halle a. S., Schmidt, Nowak & Jahn in Prag, Hallesche Maschinenfabrik vorm. Riedel & Kemnitz in Halle a. S. und einigen Anderen gebaut, die in ihren Konstruktionen etwas von einander abweichen.

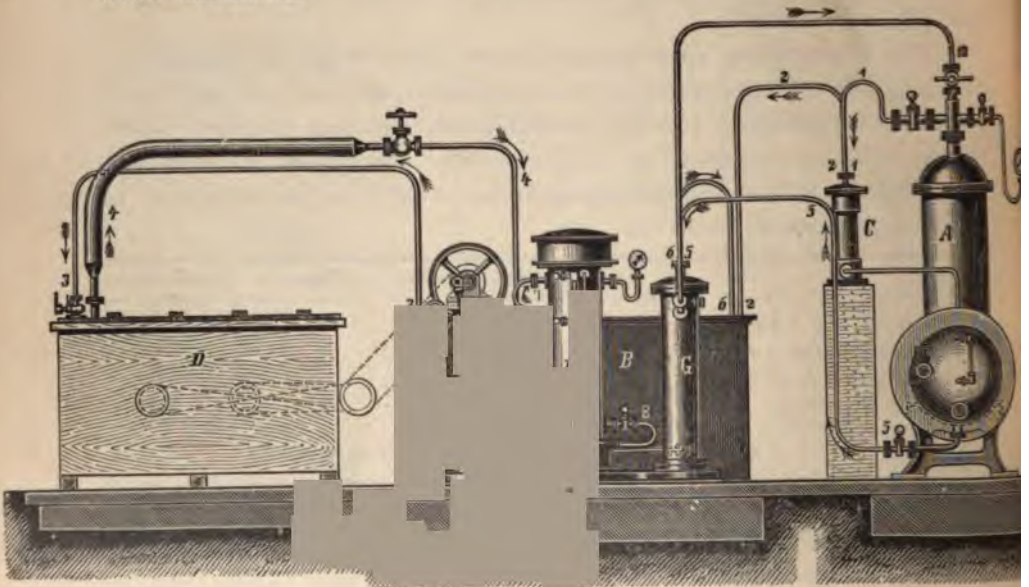


Fig. 16.

Die Maschinen werden für geringe Dimensionen und Leistungsfähigkeit auch mit direkter Feuerung gebaut, d. h. der Verdampferkessel wird mittels Brennmaterial geheizt, im Allgemeinen aber werden alle Grössen mit Dampf in der Weise geheizt, dass sich in dem Kessel ein Röhrensystem befindet, durch welches der Dampf geleitet wird. Da die Maschinen ohnehin zum Betrieb der Ammoniakpumpe Dampfkraft gebrauchen, so empfiehlt sich die Heizung mittels Dampf.

Die Ammoniak-Verdampfungsmaschinen von Vaass & Littmann werden für Leistungsfähigkeit von stündlich 10 bis 1000 kg Eis oder dessen Aequivalent an abgekühltem Wasser oder Luft gebaut.

Die Vortheile, welche die Dampfheizung hat, sind folgende:

1. Ersparniss an Arbeitskraft, da man nur einen Kessel, nämlich den Dampfkessel zu feuern hat.
2. Ein schnelleres Inbetriebsetzen und Abstellen der Maschine, während der Gang derselben ohne besondere Aufmerksamkeit ein ganz regelmässiger ist.

Ammoniak-
Verdampfungs-
maschinen.

Vaass & Litt-
mann.

3. Der Ammoniakessel, sowie sämtliche Schlangentröhren der Maschine werden sehr geschont, da kein unnütz hoher Druck in der Maschine entstehen kann.
4. Der Hauptvorteil liegt aber noch darin, dass man bei Krystalleis-Fabrikation bedeutend an Dampf erspart, weil der Dampf, der zur Heizung des Ammoniakessels verwendet wird, drei Viertel des zur Krystalleis-Erzeugung nöthigen kondensirten Wassers liefert.

Der Kessel *A* ist bis zur Hälfte mit konzentrierter Ammoniaklösung gefüllt; wird dieselbe erhitzt, so entwickelt sich Ammoniakdampf, welcher durch das Rohr *1* nach dem Entwässerungscylinder *C*, von diesem durch das Rohr *2* nach der Schlange des Kondensators *B*, von da durch das Rohr *3* bis an den Hahn geht, welcher auf der Oberfläche des Eisbildners *D* angebracht ist und mit den Schlangentröhren, die sich in letzterem befinden, in Verbindung steht.

Dadurch, dass dieser Hahn bei Beginn der Operation geschlossen und während des Ganges nur sehr wenig geöffnet ist, erleidet der Ammoniakdampf auf seinem hier beschriebenen Wege einen Druck von 8 bis 10 Atmosphären. Ausserdem wird derselbe im Kondensator dadurch abgekühlt, dass die Schlangentröhren stets mit kaltem Wasser umgeben sind. Der Ammoniakdampf wird durch die Kühlung und den Druck flüssig.

In den Schlangentröhren des Eisbildners, die in einer Chlorkaliumlösung liegen, beginnt der durch den am Eisbildner befindlichen Hahn eingelassene flüssige Ammoniakdampf zu verdampfen, und bindet bei diesem Uebergang Wärme, welche der Chlorkaliumlösung entzogen wird; in letztere werden auch die Eiszellen eingehängt, in denen sich das zum Gefrieren bestimmte Wasser befindet.

Das in den Schlangentröhren wieder zu Dampf gewordene Ammoniak geht durch das Rohr *4* nach der Einsaugungsvase *E*. Gleichzeitig kommt aus dem Kessel *A* die ammoniakarme Flüssigkeit, aus der der Dampf durch das Heizen entwichen ist, durch das Rohr *5*, den Temperatur-Wechselcylinder *G*, das Rohr *6* nach der kleineren Schlange des Kondensators *B*, von da durch das Rohr *7* nach der Einsaugungsvase *E*, wo sie den aus dem Eisbildner strömenden Ammoniakdampf absorbirt. Diese an Ammoniak reiche Flüssigkeit wird vermittelst der Pumpe durch das Rohr *8* angezogen, durch das Rohr *9*, den Wechselcylinder *G* und das Rohr *10* nach dem Kessel gedrückt, aus welcher dann von neuem die Ammoniakdämpfe ausgeschieden werden.

Wie nun hieraus zu ersehen, erleiden die Ammoniakdämpfe folgende Umwandlungen:

1. Der Dampf, welchen man durch das Heizen aus der im Kessel *A* sich befindenden Ammoniaklösung gewinnt, wird durch die Kühlung und den Druck zur Flüssigkeit verdichtet.
2. Diese Flüssigkeit verdampft in den Röhren des Eisbildners *D* und wird
3. in der Einsaugungsvase *E* von der schwachen Ammoniaklösung, aus der es durch die Wärme entwichen ist, wieder absorbirt.

Kommt es darauf an, diese Art von Absorptionsmaschinen wegen irgend einer Störung schnell ausser Betrieb zu setzen, so wird durch die Heizschlange des Ammoniakkessels *A* schnell kaltes Wasser an Stelle des Dampfes gelassen, wodurch schnelle Abkühlung erfolgt.

Von dieser Firma werden kleine transportable Eismaschinen gebaut, in Fig. 17 dargestellt, welche täglich 100 kg Eis erzeugen können, und mit denen nach Belieben ununterbrochen gearbeitet werden kann oder kürzere Zeit. Bei ununterbrochenem Betriebe liefert diese Maschine stündlich 10 kg Eis. Die Konstruktion ist dieselbe wie die der vorstehend be-

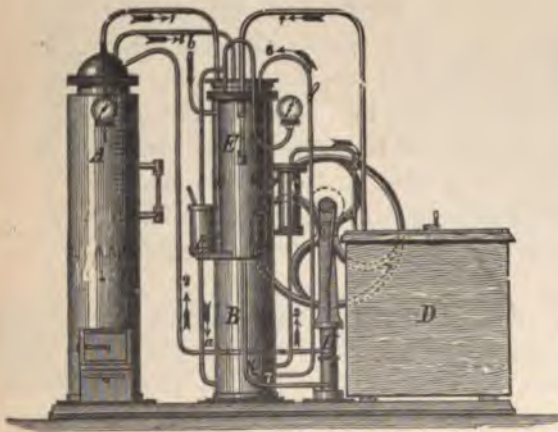


Fig. 17.

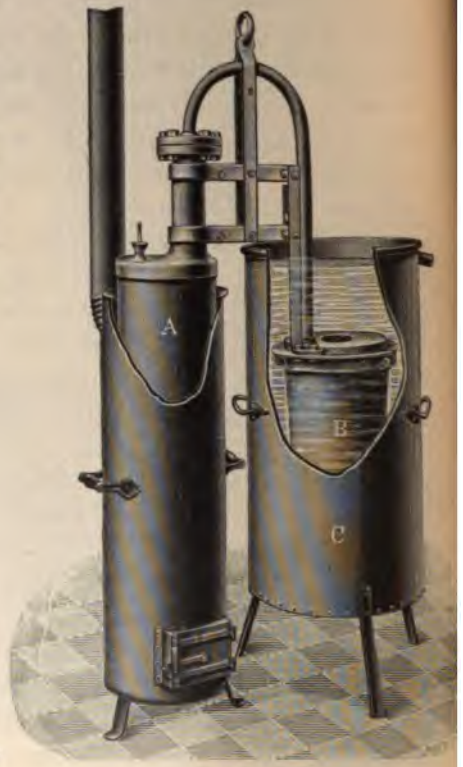


Fig. 18.

schriebenen grösseren Maschine und bedeuten gleiche Bezeichnungen durch Buchstaben und Zahlen gleiche Theile der Maschine.

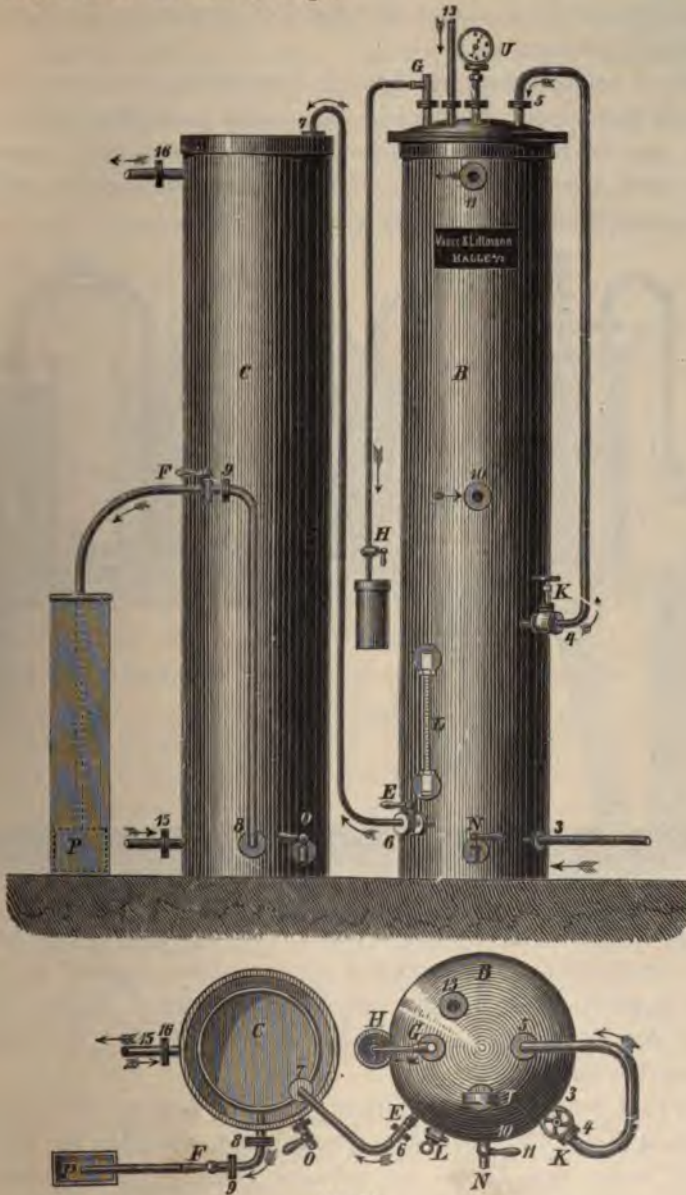
Trans-
portable
Absorptions-
maschine.

Eine noch kleinere Maschine für Haushaltungen zeigt Fig. 18, die so eingerichtet ist, dass sie je nach der Grösse bei jeder Operation 1, 2 oder 3 kg Eis herstellt. Jede Operation dauert ca. 4 Stunden.

Bei dieser Gelegenheit will ich den dieser Firma patentirten Kondensationsapparat erwähnen, der benutzt wird, um destillirtes Wasser zur Krystalleis-Erzeugung herzurichten.

Das auf gewöhnliche Weise mit den Eismaschinen hergestellte Eis ist nämlich milchig von Ansehen wegen der vielen fein vertheilten Luftbläschen, die in demselben enthalten sind. Es lässt sich nicht leugnen,

dass das Eis auch beim Wegschmelzen ein poröseres Ansehen zeigt als das aus destillirtem Wasser erzeugte.



Ammoniak-destillator.

Fig. 19.

Zur Herstellung destillirten Wassers zur Eiszerzeugung dient nun der in Fig. 19 abgebildete Apparat. In demselben ist B der Koch- und Kondensations-Cylinder, C der Wasserkühl-Cylinder. In dem Cylinder B wird der aus dem Dampfkessel kommende Dampf kondensirt, sowie das

kondensirte Wasser wieder aufgeköcht. Von dem Cylinder *B* tritt das kochende kondensirte Wasser in die Schlange des Cylinders *C* und wird hier abgekühlt, bevor es durch den Hahn *F* mittelst des Ventils *P* in die Eisformen gelassen wird.

Endlich sei hier noch ein Apparat beschrieben, mit welchem sowohl das für die Maschinen erforderliche Ammoniak aus dem bei Leuchtgasanstalten gewonnenen Rückstände, dem Ammoniakwasser, erzeugt wird, und der auch dazu dient, um die aus der Eismaschine abfließende schwache Ammoniaklösung wieder zu verstärken.

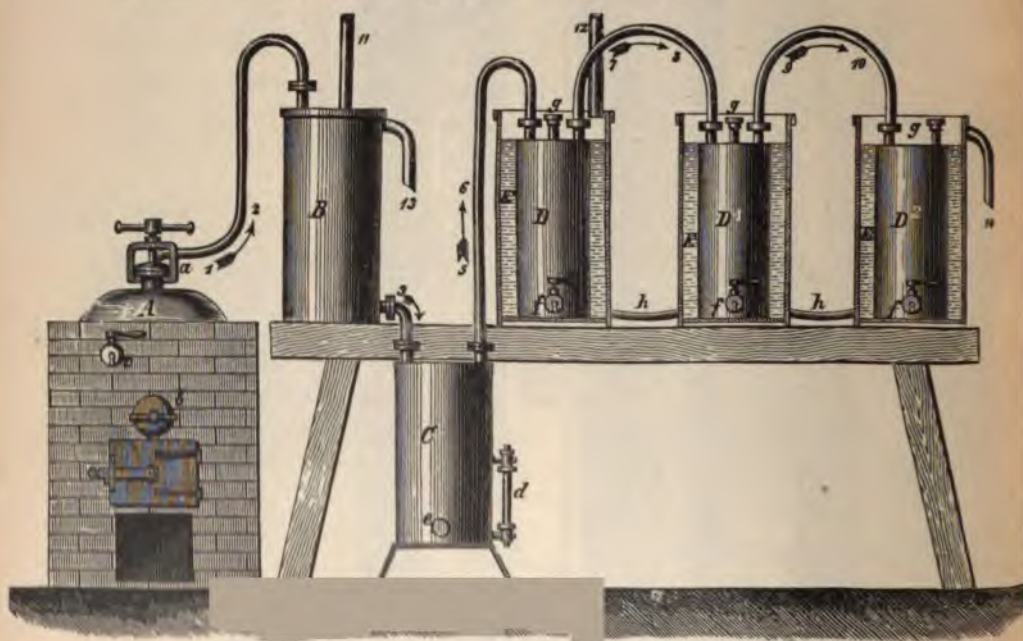


Fig. 20.

Besonders auf überseeischen Plätzen ist der Bezug von Ammoniak oft recht umständlich, so dass sich dort ein solcher Apparat empfiehlt.

Der Apparat, siehe Fig. 20, besteht aus folgenden Theilen: *A* ist der Kessel, *B* der Kondensator, *C* ein Sammelgefäß, *E* sind Kühlgefäße mit den Absorptionsflaschen *D*.

Man füllt den Kessel *A* ein Drittel voll mit Gaswasser und gebranntem pulverisirtem Kalk, füllt jede Absorptionsflasche zwei Drittel voll Wasser und macht unter dem Kessel ein gelindes Feuer. Die Ammoniakdämpfe entwickeln sich durch die Wärme aus der im Kessel befindlichen Flüssigkeit, gehen durch das Rohr *1* bis *2* und durch das Schlangengerühr des Kondensators *B* in das Sammelgefäß *C*, wo die übersteigenden Wasser- und Theile zurückbleiben, und dann in die Absorptionsflaschen *D*, in welche von dem darin befindlichen Wasser absorbirt wird.

Ist das Wasser in der ersten Flasche genügend gesättigt, so geht der Dampf in die zweite und von da in die dritte Flasche. Auf diese Weise wird ein Sättigungsgrad von 30° nach Cartier erreicht, und wird die Flüssigkeit, nachdem sie diesen Grad erreicht, durch den Schnabelhahn *f* abgelassen und die Flasche von neuem mit Wasser gefüllt.

Die Abdestillation des Ammoniaks ist beendet, wenn das Wasser im Kessel eine Temperatur von 102° C. erlangt hat, und lässt man alsdann die Flüssigkeit aus dem Kessel durch die Oeffnung *b* ab, reinigt den Kessel, damit kein Kalk zurückbleibt, und füllt ihn wieder mit Gaswasser und pulverisirtem Kalk.

Während des Betriebes lässt man in den Kondensator *B* und in das Kühlgefäss *E* durch das Rohr *11* und *12* frisches Wasser zur Kühlung des Dampfes und zur Erleichterung der Absorption in den Absorptionsflaschen zufließen.

Zeigt sich die Flüssigkeit im Sammelgefäss bis zur Mitte des Wasserstandszeigers, so wird dieselbe durch den Hahn *f* abgelassen und bei dernächsten Füllung des Kessels mit hinein gefüllt, weil sie viel Ammoniakdampf enthält.

Die Verstärkung der aus den Eismaschinen von Zeit zu Zeit abgelassenen schwachen Ammoniaklösung geschieht mittels dieses Apparates dadurch, dass man die drei Absorptionsflaschen jede statt mit Wasser, zwei Drittel voll mit der schwachen Ammoniaklösung füllt, ferner den Kessel, statt mit Gaswasser und Kalk, ein Drittel mit der schwachen Lösung füllt und auf die vorher beschriebene Weise verfährt. Ist der Dampf aus der schwachen Lösung ausgetrieben, die sich im Kessel befindet, so wird die Flüssigkeit abgelassen und der Kessel von neuem gefüllt, und verfahren, bis die Lösung in den Absorptionsflaschen gesättigt ist.

Die Ammoniak-Verdampfungsmaschinen von früher Oscar Kropff in Nordhausen, jetzt Schmidt, Kranz & Co. sind in Fig. 21 dargestellt.

Der Ammoniakwasserkessel *A* wird mittels Dampf erhitzt, die Ammoniakdämpfe in Kühlschlangen unter Druck kondensirt und in Sammelgefässen *B* aufgenommen. Von hier aus wird nunmehr das flüssige Ammoniak nach den Eisbildnern *CC* und dem Wasserkühler *D* in feinen Röhren geführt.

In diesen Eisbildnern und Wasserkästen wird aber durch die schnelle Verdunstung des darin frei werdenden Ammoniaks und hierdurch wieder in oben beschriebener Weise Eis resp. Wasser von 0° erzeugt. Die Ammoniakdünste werden jetzt nach dem Absorptionscyliner des Haupttheiles *B* geführt, daselbst mit dem ammoniakarmen, vom Kessel kommenden Wasser zusammengebracht, absorbirt und schliesslich nach dem Kessel zurückgepumpt.

Das auf diese Art erhaltene Eis wird von Zeit zu Zeit aus den verschiedenen Formen gehoben und den Eishäusern einverleibt.

Kropff'sche
Absorptions-
maschine.

Was das Eiswasser des Wasserkühlers *D* betrifft, so kann das direkt zur Kühlung der Bierwürze, der Gährbottiche, oder auch zur]

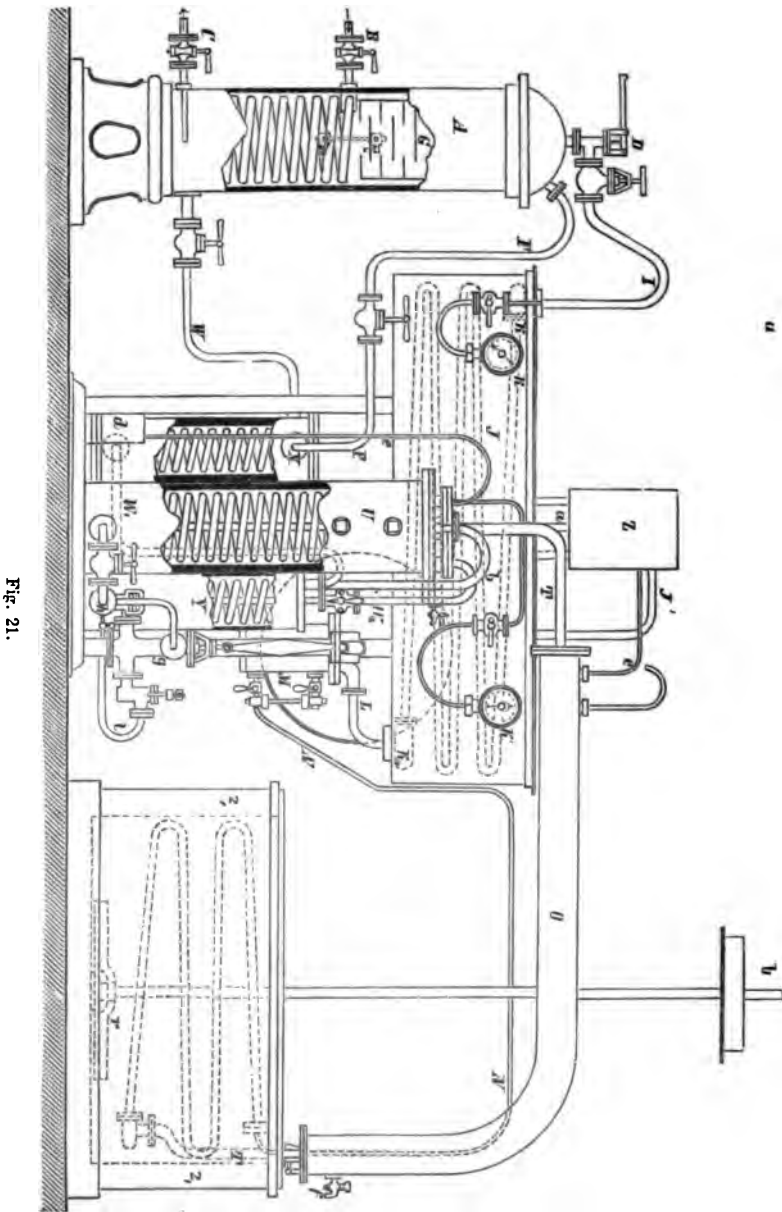


Fig. 21.

lung der Luft in dem patentirten Kropff'schen Luftkühlapparat *E* be-
werden, der später beschrieben werden soll.

Die neueren Kälteerzeugungs-Maschinen dieser Firma sind
anders konstruirt. Sie sind in Fig. 22 und 23 abgebildet und untersch

ich von der älteren Kropff'schen Konstruktion hauptsächlich dadurch, dass bei ihnen sämtliche Schlangen durch gerade Röhrenbündel ersetzt sind.

In dem Ammoniakkessel *A* befindet sich wieder die Ammoniaklösung, die wiederum durch Feuer oder Dampf überdestillirt wird, und

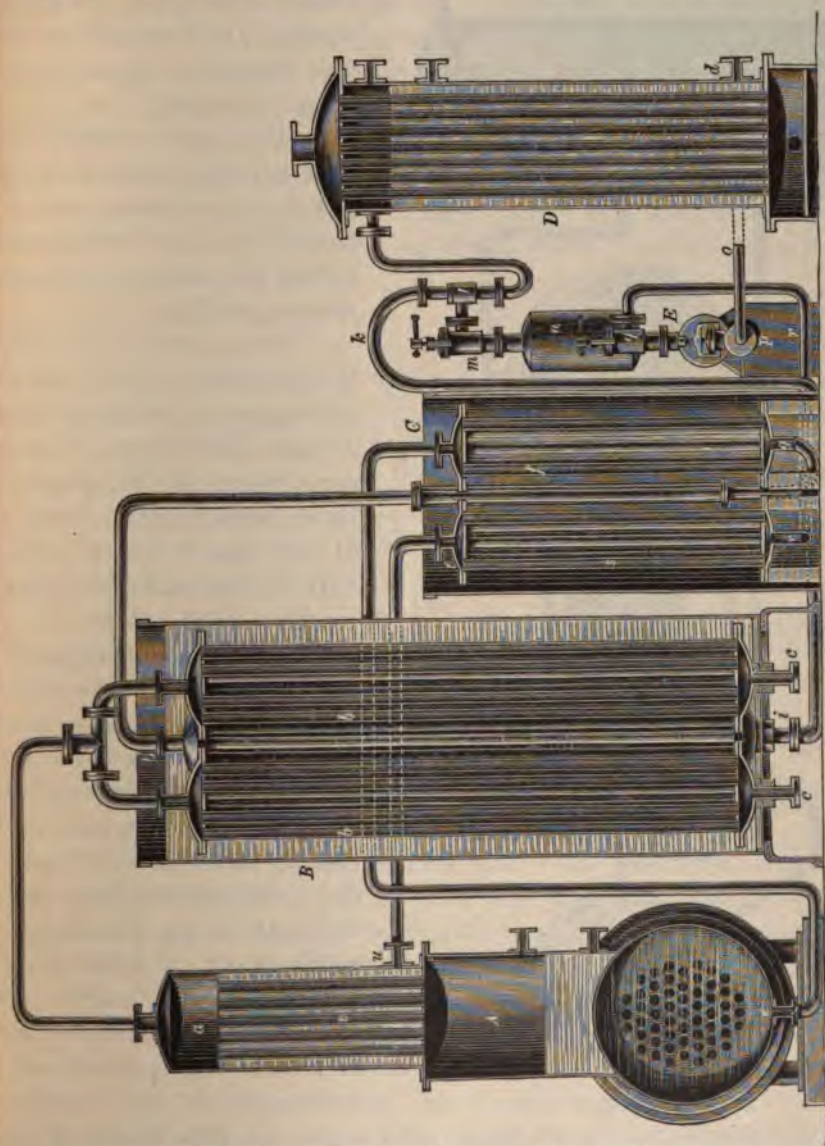


Fig. 22.

zwar nach den Kühlröhren des Kondensators *B*, wo die Kühlung erfolgt und, unter dem gleichzeitigen Drucke von 8 bis 10 Atmosphären, die Verdichtung zu dem tropfbar flüssigen Zustande. Das flüssige Ammoniak sammelt sich in dem unteren Theile der Kühlröhren in einer besonderen

Schaale, wird von da aus in ein Röhrensystem geleitet, wo es unter geringem Drucke verdunstet und die Kälte erzeugt durch Aufnahme der Verdampfungswärme. Alsdann werden die Gase nach dem Gefässe *D* geleitet,

wo sie von der ammoniakarmen Flüssigkeit aufgesaugt werden. Die Pumpe *E* befördert die Flüssigkeit dann in den Kessel *A* zurück.

Die nach Abdestillirung ammoniakarme Flüssigkeit war, wie schon erwähnt, aus dem Kessel *A* nach dem Vereinigungsgefässe *D* geleitet, wo die Aufsaugung erfolgt.

Um nicht allzu grosse Wärmeverluste zu haben, ist man gezwungen, die aus dem Gefässe *D* nach dem Kessel *A* mittels der Pumpe *E* zu schaffende starke Salmiaklösung, bevor sie in den Kessel eintritt, vorzuwärmen, was auf folgende Weise geschieht. Das aus dem Kessel *A* nach dem Vereinigungsgefässe *D* gehende schwache, aber heisse Ammoniak tritt, sobald es aus dem Kessel *A* kommt, durch die Röhren des Vorwärmers *C* hindurch und geht von hier, nachdem es in besonderen Röhren *b* des Kondensators weiter abgekühlt ist, in das Vereinigungsgefäss *D* ein. Die aus diesem Gefäss kommende starke, aber kalte Ammoniakflüssigkeit tritt nun, bevor sie in den Kessel *A* zurückgeht, in den Vorwärmer

ein, wird hier durch die schwache, aber heisse, aus dem Kessel *A* kommende Ammoniakflüssigkeit erwärmt und tritt so in den Kessel *A* zurück, um wieder verdunstet zu werden.

Zur Vereinfachung der Temperaturwechselgefässe an Carré'schen Absorptions-Kältemaschinen haben Schmidt, Kranz & Co. einen Vor-

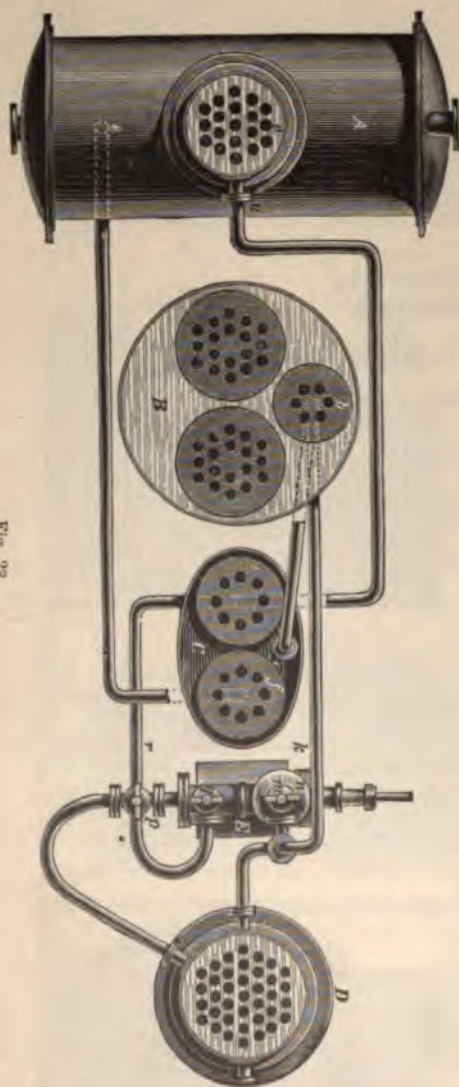


Fig. 28.

wärmer angebracht, wodurch gleichzeitig die Rohrsysteme vermindert werden, und einen glockenförmigen Kühler, Fig. 24, in welchem auf der gemeinschaftlichen Grundplatte *C* die beiden cylinderförmigen Glocken *A* und *B* so befestigt sind, dass ein ringförmiger und ein geschlossener Raum *G* und *H* entstehen. Die vom Ammoniak-Destillationskessel kommende heisse und ammoniakarme Flüssigkeit tritt durch den oberen Stutzen *a* ein, während die kalte gasreiche, von dem Absorptionsgefässe kommende Lösung in den inneren Raum eintritt. Die Oeffnung *F* dient für diese Flüssigkeit zum Eintritt und gleichzeitig zum Abfluss, was durch das Dreiwegstück *D* vermittelt wird, indem der Eintritt durch den Rohrstutzen *c* erfolgt, und der Abfluss durch das aufsteigende Rohr *E*, nachdem die innere Glocke bis zu dessen Höhe angefüllt ist. Dadurch, dass das Rohr *E* in einiger Entfernung von dem oberen Boden endet, dient die innere Glocke gleichzeitig als Windkessel für die Ammoniakpumpe. Die innere Glocke wird bei grösseren Apparaten mit Gallowayrohren versehen, um die Fläche zu vergrössern.

Dieselbe Firma hat kleine, recht bequeme Maschinen für intermittirende Eisfabrikation konstruirt, welche sowohl für Hausbedarf, wie namentlich in den etwas grösseren Exem-

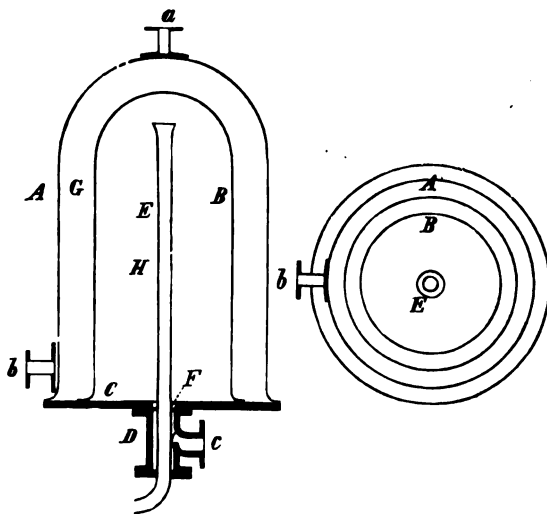


Fig. 24.

plaren für Schiffe vorzüglich geeignet sind. Die Maschinen werden jetzt auch von Vaass & Littmann in Halle a. S. gebaut. Sie werden sowohl mit Ofen zu direkter Heizung, wie Fig. 25, sowie mit Dampfheizung nach Fig. 26 oder in grösseren Dimensionen wie Fig. 27 geliefert, für Produktion von $7\frac{1}{2}$, 15 und 30 kg Eis pro Charge von zwei Stunden. Es wird an diesen Maschinen gerühmt, dass der Ammoniak-Destillationskessel aus einem Stück geschweisst ist, so dass keine Undichtigkeiten entstehen können, und dass die Ventile ausserhalb des Kessels angebracht und leicht zugänglich sind. Fig. 28 zeigt einen Durchschnitt durch die Maschine im Aufriss, Fig. 29 im Horizontalschnitt durch den Ventilkasten *C*. *A* (Fig. 28) ist der Ammoniakessel, *B* Eisbildner und Kondensator, *C* ein Ventilkasten, *D* ein gusseiserner Dampfmantel. Der Ammoniakessel ist aus einem Stück geschweisst mit eingeschweisstem Boden *k* und angeschweisstem

Flansch *l*, und wird mittels Dampf von aussen durch den Dampfmantel geheizt, in welchen durch Stutzen *v* der Dampf eintritt, während durch *r*, das Kondensationswasser abfließt. Von dem gusseisernen Ventilkasten *C* aus führt das Rohr *b* in den Kessel *A* hinab, biegt sich unten dicht am Boden in eine siebartig durchlöchernte Spirale um, durch welche das Ammoniak am Schlusse des Processes wieder in den Ammoniakessel zurückgelangt. Unmittelbar unter dem Eintritt des Rohres *b* in denselben ist eine Blech-scheibe angebracht, nahezu von dem Durchmesser des Kessels *a*, welche das Ueberkochen des flüssigen Salmiakgeistes verhindert. Der Ventil-

Kleine
inter-
mittierende
Absorptions-
maschine.



Fig. 25.



Fig. 26.

kasten enthält die beiden Ventile *c* und *d*, die Verschlusschrauben *i*, und ist durchzogen von den beiden Kanälen *e* und *f*, welche am Ausgangsflansch mit den Ventilen *m* und *g* versehen sind, von welchen aus die Rohre *f* und *e* nach dem Eisbildner führen. Die Ammoniakdämpfe heben das Ventil *c* und streichen durch den Kanal *e* und Ventil *g* in den konischen Raum, welcher durch den Cylinder *o* und den konischen Ring *n* gebildet wird. Dieser Eisbildner ist eingehängt in ein Blechgefäß *S*, durch welches beständig Kühlwasser fließt, mit dessen Hülfe die unter Druck überdestillirten Ammoniakdämpfe flüssig gemacht werden. Das Ammoniak wird bei 120° C. Temperatur überdestillirt, was ein oben am Ventilkasten angebrachtes Manometer und Thermometer anzeigt, was etwa

$\frac{3}{4}$ Stunden in Anspruch nimmt. Darauf stellt man das Kühlwasser ab vom Gefässe *S* und lässt es durch den Heizmantel *D* an Stelle des Dampfes laufen, wo es bei *w* eintritt und bei *w*₁ abfließt. Ventil *g* wird geschlossen und Ventil *m* geöffnet. Dadurch findet die Wiederverdampfung

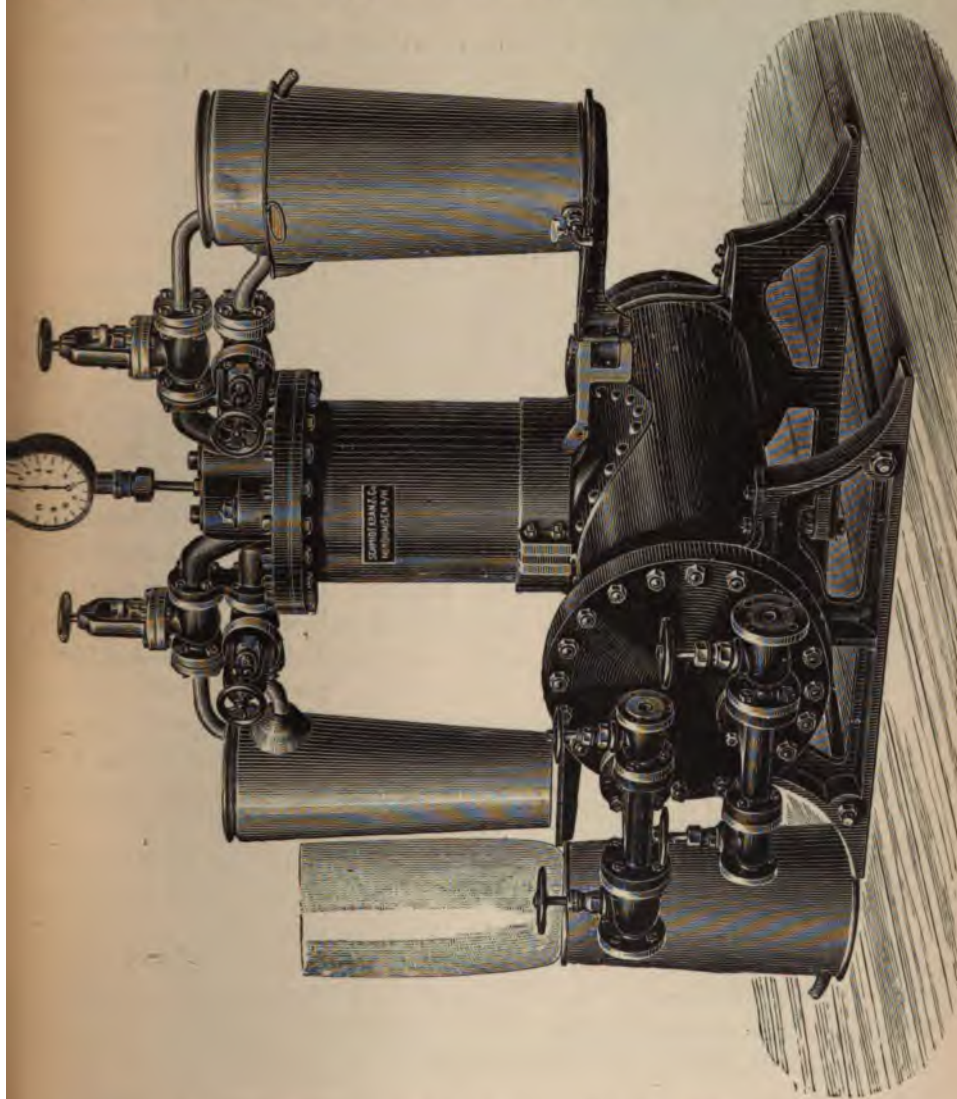


Fig. 27.

des flüssig gewordenen Ammoniaks statt, wobei das Wasser im Gefässe *S* zum Gefrieren kommt, was in etwa $1\frac{1}{4}$ Stunde vollzogen ist, während die Ammoniakdämpfe durch Ventil *m*, den Kanal *f*, in das Rohr *b* und den Ammoniakkessel *A* gelangen, wo sie absorbiert werden. Das Kühlwasser im Mantel hält die Temperatur entsprechend niedrig. Ist das

Wasser im Blechgefäße *S* gefroren, so dreht man den Teller *F*, auf welchem das Gefäß steht, zur Seite und zieht es mit dem Eise von dem Eisbildner ab.

Die kleine Schraube *b* dient zum Entfernen der Luft aus dem Eisbildner.

Die doppelte Maschine Fig. 27 erklärt sich hiernach von selbst.

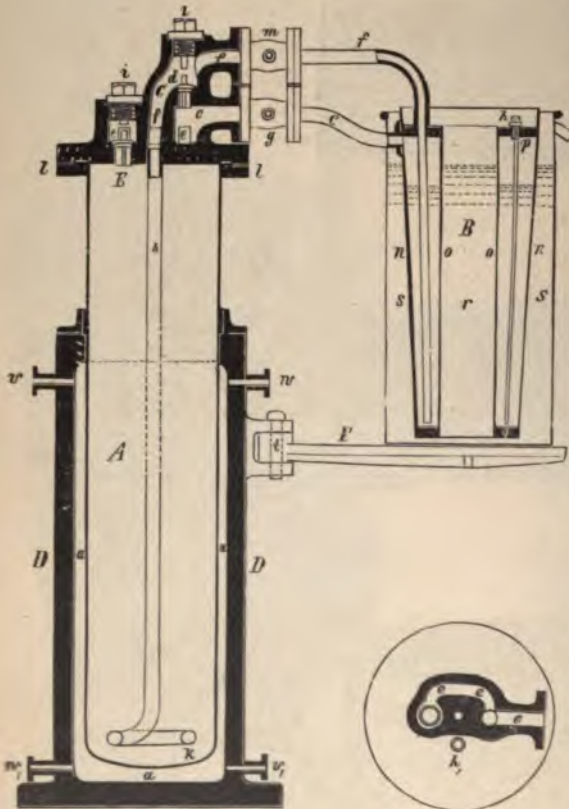


Fig. 28.

Fig. 29.

Eine ähnliche Maschine, die aber in mancher Hinsicht von der vorstehend beschriebenen abweicht, ist die in Fig. 30 im Querschnitt und Fig. 31 im Grundriss dargestellte Maschine von Kropff. *A* ist hier der Ammoniakessel, die Heizung und Kühlung geschieht mittels des darin liegenden Rohrbündels *a*, während das Ammoniak durch die horizontalen Röhren *b* in den Verdampfer oder Eisbildner geleitet wird. Heizen und Abkühlen geschieht durch die im Grundriss und Durchschnitt gezeichneten Ventile *c*. Diese letzteren Maschinen werden von Wegelin & Hübner in Halle a. S. geliefert, welche auch grosse Absorptionsmaschinen nach

Kropff'schem Systeme bauen. Die Fig. 32 und 33 geben eine Abbildung derselben, und zwar stellt *A* den Ammoniakessel dar, von welchem die Ammoniakdämpfe in den Kondensator *B* durch Ventil *10* hinüber destilliren und sich im Sammelgefäß *C* als flüssiges Ammoniak sammeln. Durch Hahn *11* und *12* geht das Ammoniak in den Verdampfer und Eis-erzeuger *D* über, und von da durch den Vorkühler *K* für das zum Gefrieren zu bringende Wasser und Ventil *13* in das Absorptionsgefäß *E* mit dem Luftauslass *J*. Die Absorptionsflüssigkeit fließt nun durch das Kühlgefäß *F*, den sogenannten Wärmeaustauscher, wo sie den schwachen

dem Destillirkessel *A* kommenden Salmiakgeist erwärmt, der auf seinem
 ernen Wege durch das Kühlgefäß *G* mittels kalten Wassers abgekühlt
 d, um im Absorptionsgefäß *E* während der Absorption in Gemeinschaft

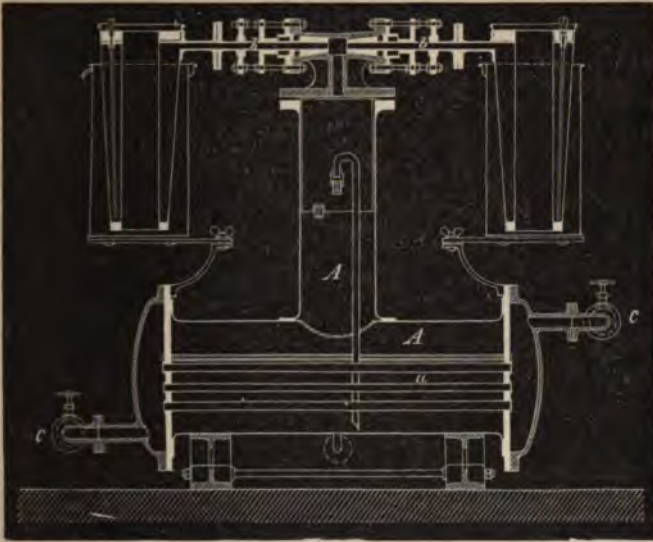


Fig. 30.

mit kaltem Wasser zur Abkühlung zu dienen. *H* ist eine Ammoniak-
 pumpe. Wenn man diese Abbildungen aufmerksam betrachtet, so wird
 man finden, dass hier bei dieser Konstruktion alles Mögliche gethan ist,

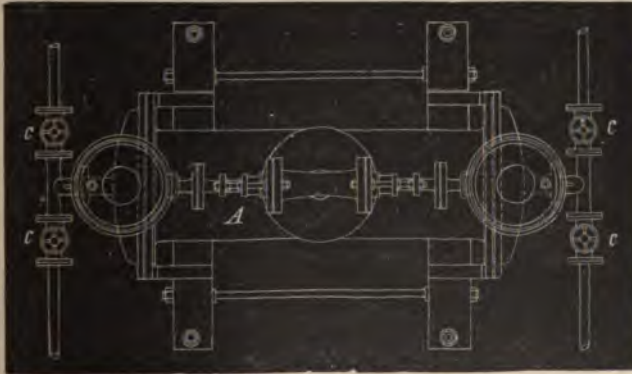


Fig. 31.

um den im vorigen Kapitel hervorgehobenen starken Kühlwasserverbrauch
 gegenüber Kompressionsmaschinen möglichst herabzuziehen. Das Kühl-
 wasser wird im Absorptionsgefäß *E* und im Kühler *G* benutzt, um die
 schwache Lösung und die Absorptionsflüssigkeit auf 20 bis 25° C. abzu-

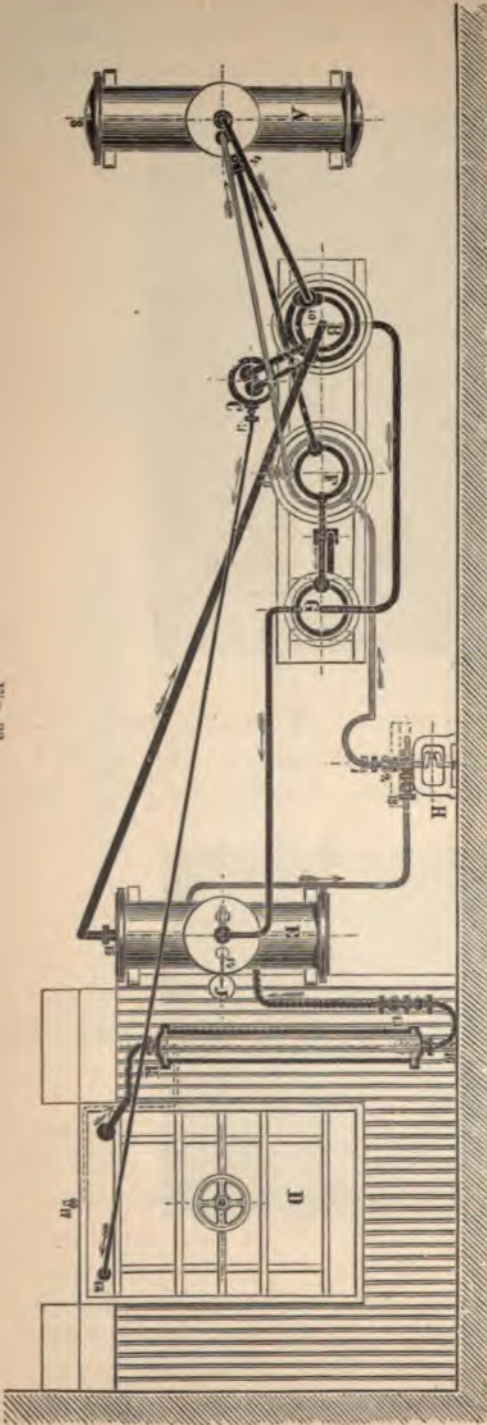


Fig. 33.

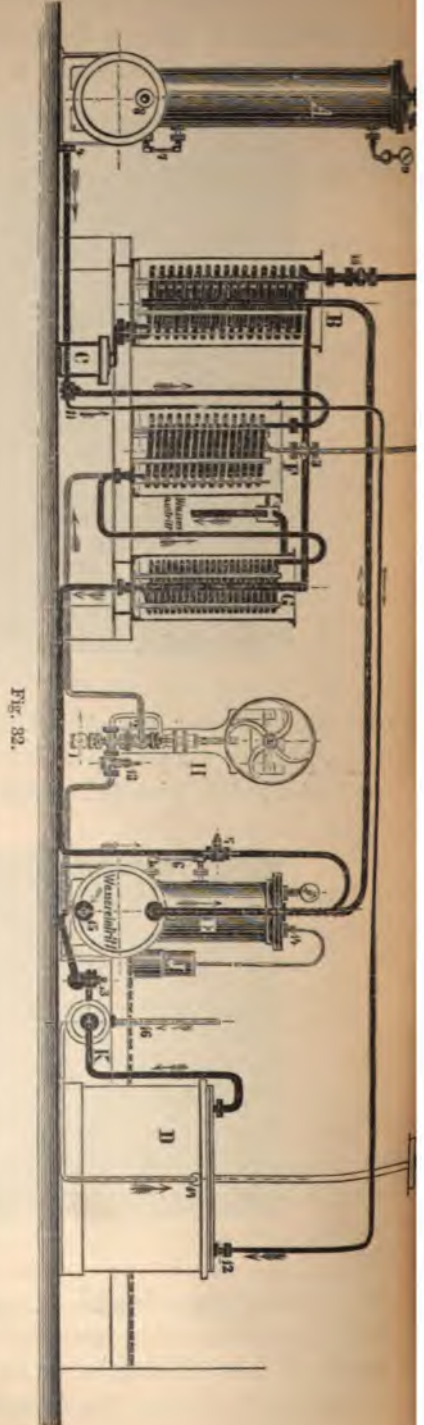


Fig. 32.

kühlen und dient dann noch nebst dem im Kondensator zur Kühlung benutzten Wasser zur Vorkühlung der schwachen Lösung im Wärmeaustauscher *F*. So auch sucht man im Vorkühler *K* das Wasser, welches zum Gefrieren gebracht werden soll, mittels des aus dem Verdampfer und Eisbildner *D* kommenden Ammoniakdampfes auf seinem Wege in das Absorptionsgefäß *E* vorzukühlen. Endlich lässt sich auch der zum Heizen

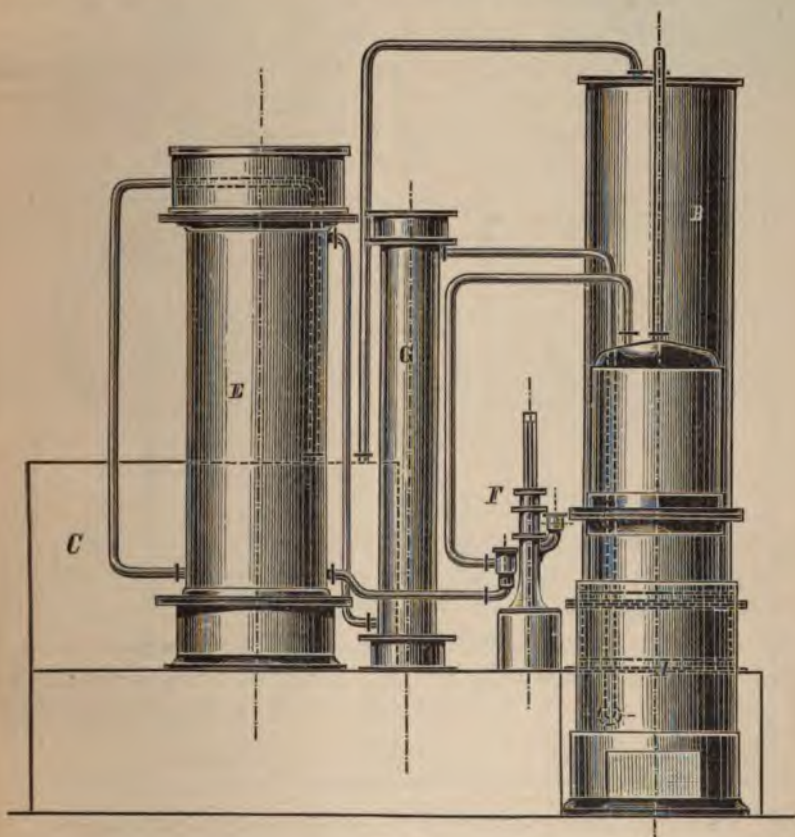


Fig. 34.

im Destillationskessel *A* benutzte Wasserdampf ohne Weiteres verwenden zur Erzeugung von Klareis, weil das Kondensationswasser aus demselben destilliert und daher chemisch rein und luftfrei ist. Freilich erfordert es dann zur Kondensation wieder Kühlwasser, was allerdings zum Speisen des Dampfkessels Verwendung finden kann. Wie man sieht, wird hier Alles gethan, was möglich ist, um die mit dem System verbundenen Uebelstände zu mindern. In unseren Klimaten lässt sich auch einigermaßen Erfolg damit erzielen, in der heißen Zone dagegen häufen sich die Verluste, weil das Kühlwasser zu warm ist. Dagegen ist die geringe

Betriebskraft ein beachtenswerther Vortheil in Ländern, wo das Maschinenwesen noch wenig zu Hause ist, und die Beaufsichtigung um deswillen leicht, weil an Maschinen nur allein die kleine Ammoniakpumpe und eine Rührvorrichtung vorhanden ist.

leine Ab-
sorption-
maschine
von Mosler.

Die Miniatur-Kühlmaschinen der Maschinenfabrik Hohenzollern in Düsseldorf, auf dem Absorptionssystem beruhend, werden in drei Grössen, für 400, 1000 und 2000 kg Eiserzeugung in 24 Stunden bei kontinuierlichem Betriebe, gebaut. Die beiden kleineren Nummern gebrauchen keine Betriebskraft, weil der Arbeiter, welcher die Maschine

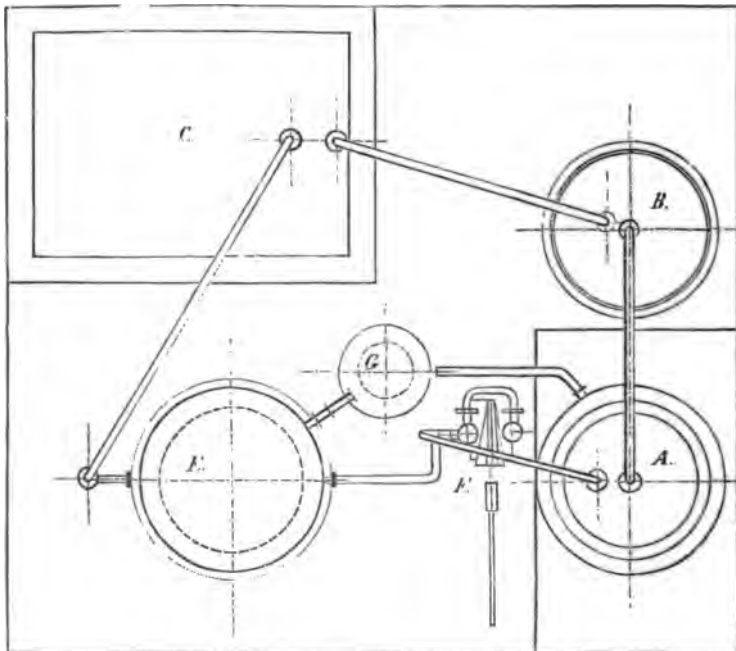


Fig. 35.

bedient, auch gleichzeitig die kleine Ammoniakpumpe in Bewegung setzen kann. Auch diese Maschine wird sowohl mit Dampfheizung, wie mit direkter Feuerung eingerichtet. Die Fig. 34 und 35 stellen die Maschinen dar, A ist der Ammoniakessel, B der Kondensator, C der Eisbildner, E das Reinigungsgefäss, F die Ammoniakpumpe, G der Vorkühler, H und J ein Sprühapparat und Pumpe zur Kellerkühlung. Die abgebildete Maschine weicht insofern von den bisher beschriebenen ab, als sie ausser der Eiserzeugung auch gleichzeitig die gekühlte Salzwasserlösung direkt zur Kellerkühlung verwendet. Der Kessel A dient wie sonst zur Verdampfung des Ammoniaks, die Kühlung findet im Kondensator B statt und im Eisbildner C geht die Verdampfung vor sich, E und G dienen zur Absorption, Abkühlung der ammoniakarmen und zur Erwärmung

der starken Lösung, wie bei den bisher besprochenen Absorptionsmaschinen. Der Sprühapparat gelangt in einer späteren Abtheilung zur Besprechung.

Es ist schon früher nachgewiesen worden, dass die Ammoniak-Absorptionsmaschinen mehr Dampf, also mehr Kohlen gebrauchen, als die Kompressionsmaschinen, und dass auch der Kühlwasser-Aufwand viel grösser ist. Es mag ferner erwähnt werden, dass die heissen Ammoniakdämpfe eine stärkere Wirkung auf die Rohrspiralen ausüben können, als die in letzteren Maschinen arbeitenden kalten Dämpfe, dass auch, wenn man überhaupt das Platzen irgend eines Theiles der Maschine in Betracht ziehen will, die zerstörende Wirkung der heissen Dämpfe grösser und lästiger sein wird, als die der kalten. Bei den hohen Temperaturen finden nicht unerhebliche Verluste von Ammoniak in Folge Zersetzung desselben statt, so dass häufigere Nachfüllung nothwendig ist. Es sollen

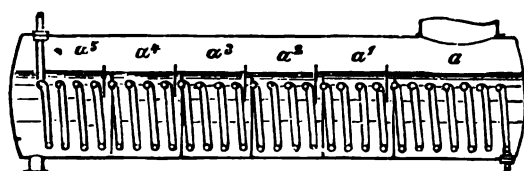


Fig. 36.

ferner Verstopfungen von Röhren zuweilen vorkommen, hauptsächlich herbeigeführt durch Verseifen des Schmiermaterials bei hohen Temperaturgraden, wenn nicht mit ganz reinen Mineralölen geschmiert wird. Dagegen ist die Einfachheit und Geringfügigkeit der in Bewegung befindlichen Theile unter Umständen ein grosser Vorzug, ganz besonders in überseeischen Ländern, wo die Bekanntschaft mit Maschinenwesen überhaupt noch sehr gering ist. Ferner ist ein Vortheil gegenüber den Kompressionsmaschinen, dass, sobald die Maschine in Stillstand versetzt wird, die Spannung auch sofort aus den verschiedenen Theilen verschwindet, so dass Reparaturen sogleich vorgenommen werden können, während bei jenen Maschinen das Ammoniak in gewisser Spannung in der Maschine bleibt, so dass bei Reparaturen nicht selten Ammoniakverluste eintreten.

Die Maschinen von Pontifex & Wood, jetzige Firma The Haslam Foundry and Engineering Co. in London, die auch in Amerika von der Isbell-Porter Company in New-York gebaut werden, sind bereits als Typus des Absorptionssystems besprochen und abgebildet. Sie sind aber noch unvollkommener als die vorstehend beschriebenen verbesserten Carré-Maschinen.

Die bereits erwähnten Maschinen von Habermann sind dadurch verbessert, dass im Ammoniakessel eine Scheidung vorgenommen wird

Habermann's Absorptionsmaschine.

zwischen der ammoniakarmen Flüssigkeit und der aus dem Absorptionsapparat zugeführten starken Lösung. Es wird dadurch erreicht, in das

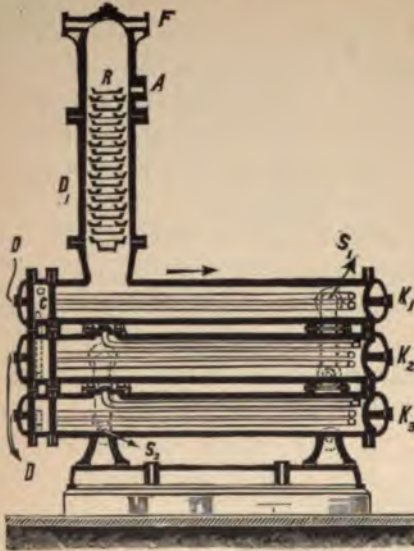


Fig. 37.

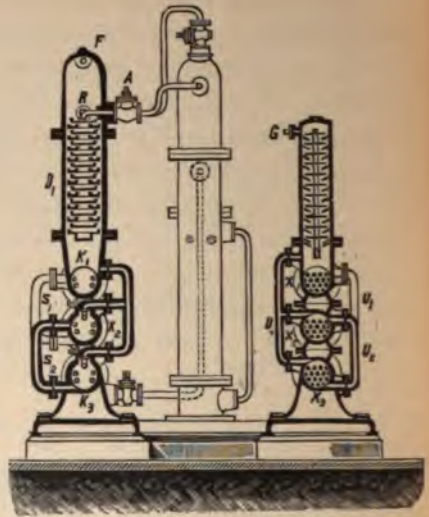


Fig. 38.

Absorptionsgefäß eine ausserordentlich verdünnte Lösung zu bringen, wodurch natürlich die Absorptionsfähigkeit gegenüber den bisherigen

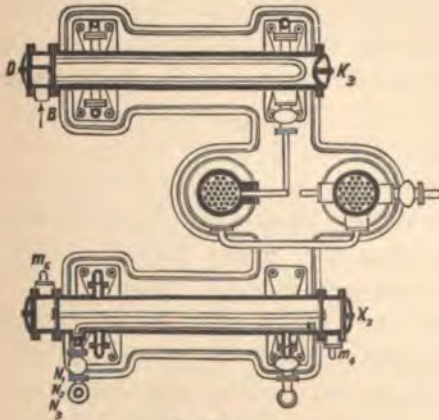


Fig. 39.

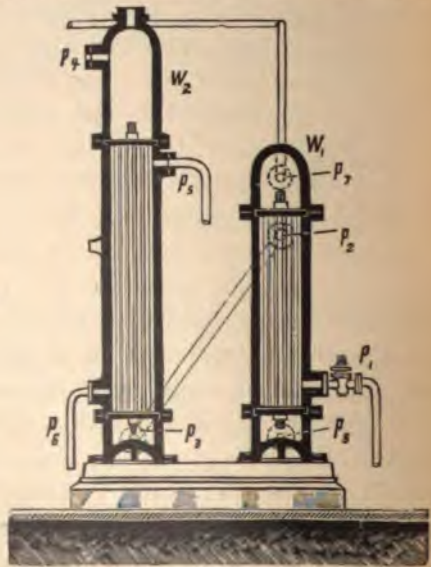


Fig. 40.

Maschinen sehr erhöht wird. Dadurch geht die Absorption auch viel schneller vor sich, und es folgt daraus im Verdampfer schnellere Ver-

dampfung und niedrigere Temperatur. Auch die Menge des Kühlwassers wird durch diese Einrichtung vermindert, sowie auch die Dimensionen der Maschinen kleiner werden.

Das Patent an diesen Maschinen besteht darin, dass der Ammoniakessel Fig. 36 durch zweitheilige Scheidewände in Kammern a bis a^5 eingetheilt ist, welche mit einander kommunizieren. Die konzentrierte Ammoniakflüssigkeit durchströmt die Abtheilungen von einem Ende zum andern, während die Dämpfe, welche zum Heizen dienen, die Heizschlange in entgegengesetzter Richtung durchströmen. Es findet auf diese Weise auch eine bessere Ausnützung der Wärme statt.

In ganz ähnlicher Weise sind die Absorptionsgefäße eingerichtet, indem das Kühlwasser durch die Schlange sich bewegt, während die verdünnte absorbirende Lösung den entgegengesetzten Weg durch die Kammern nimmt.

Die ausgeführte Habermann'sche Maschine ist in den Fig. 37 bis 40 dargestellt. Der sogenannte Gasapparat, entsprechend dem

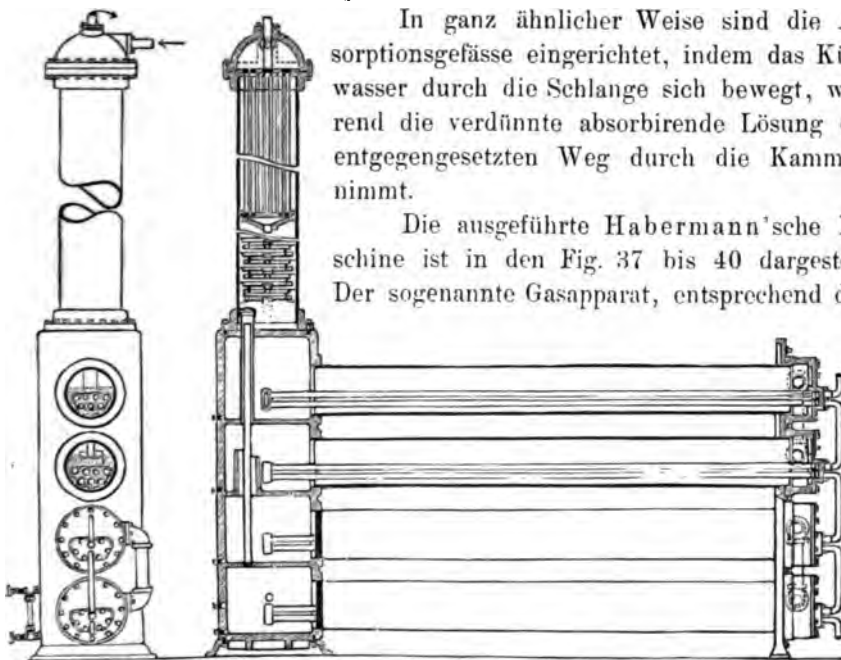


Fig. 41.

Kessel bei anderen Absorptionsmaschinen, ist in den Fig. 37 bis 39 in verschiedenen Durchschnitten dargestellt. In Fig. 38 liegen links die Kochrohre, rechts die Aufsaugrohre, und zwischen ihnen stehen die beiden Wechsler (Temperatenausgleicher), der eine für Dampf, der andere für Flüssigkeit. Die Kochrohre sind vorn durch Dampfvorköpfe D , Fig. 37, rückwärts durch einfache Deckel geschlossen. Fig. 37 zeigt einen Längsschnitt durch die Kochrohre im Aufriss. Fig. 39 stellt einen Grundriss dar.

Die beiden Wechsler W_1 und W_2 sind, wie die Fig. 40 deutlich zeigt, konstruirt. Auffallend gross, gegenüber den sonstigen Absorptionsmaschinen, sind bei dieser Maschine der Aufsauger (Absorber) und der Wechsler (Temperatenausgleicher). Bei der alten Carré-Maschine sind

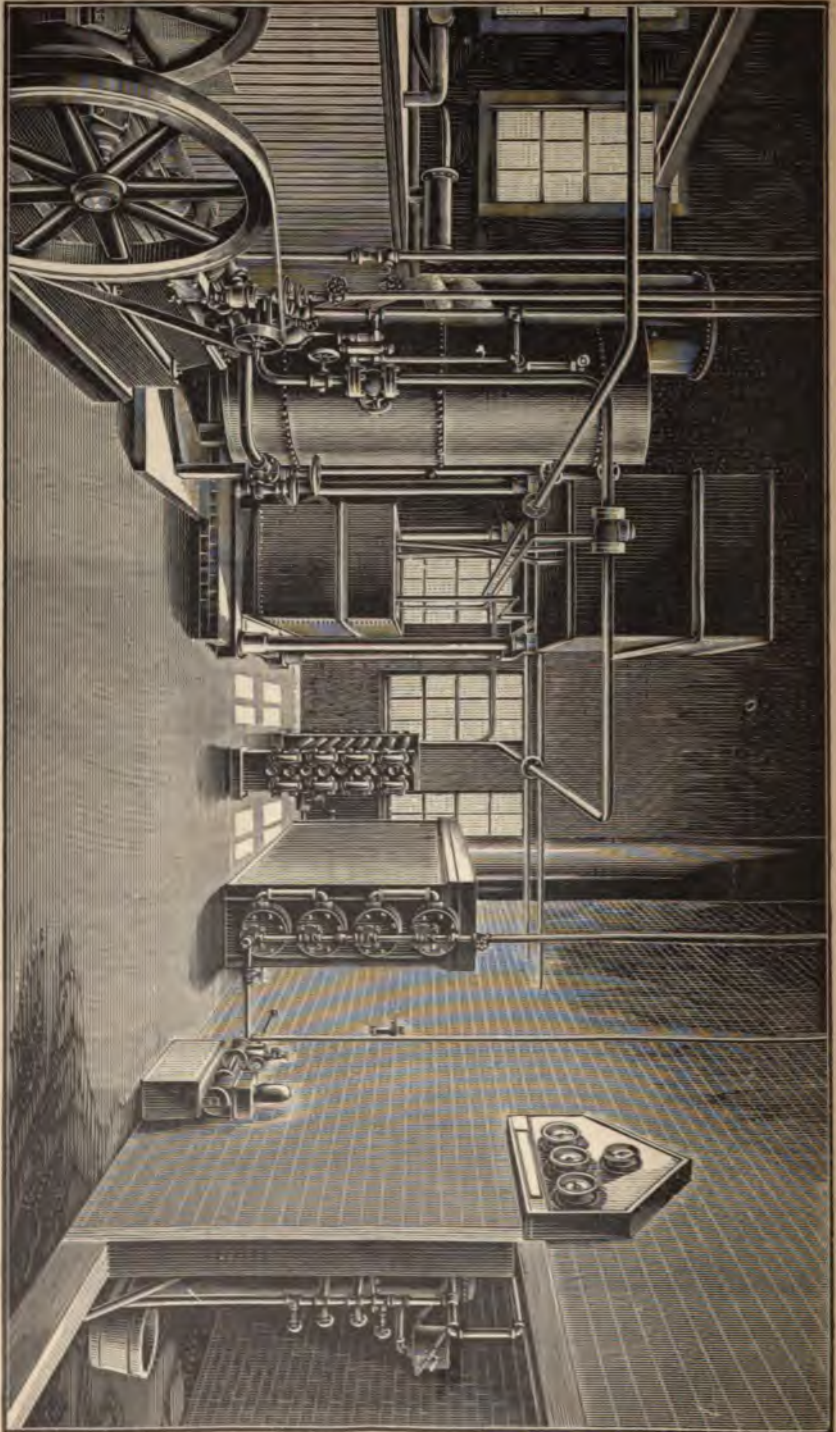


Fig. 42.

beide Apparate im Vergleich mit dem Kocher sehr klein, wogegen Habermann beide stets grösser, als den eigentlichen Kocher baut. Schon die Zeichnung zeigt, wie ungleich hier die beiden Gefässe sind. Diesen Uebelstand haben bereits andere erkannt und ihn durch Anwendung grösserer Wechsler verringern wollen. Da jedoch die Vergrösserungen immer in der Absicht vorgenommen wurden, um im Kocher Dampf zu ersparen, und diese Wirkung ausblieb, so ging man wieder davon ab.

Sulzer-Vogt's Absorptionsmaschine

Da bei der Habermann'schen Maschine keine Schlangen angewendet werden, sondern, wie bei den beschriebenen neueren Kropff'schen Maschinen, Rohrsysteme, so können die Apparate leicht gereinigt werden.

In Amerika wird eine Verbesserung der Absorptionsmaschine von der Sulzer-Vogt Machine Co. in Louisville durch den in Fig. 41 abgebildeten Ammoniakkessel herbeigeführt.

Derselbe besteht ähnlich wie der Habermann'sche aus einer Anzahl übereinander liegender Röhren, in welchen die Heizröhren schlangenartig angebracht sind, und aus einem vertikalen Rohr oder Thurm mit Heizröhren und übereinander liegenden Becken zur Abscheidung der Flüssigkeit und zum Trocknen des Dampfes. Die Fig. 42 zeigt eine Abbildung der ganzen Maschine. Es wird nun

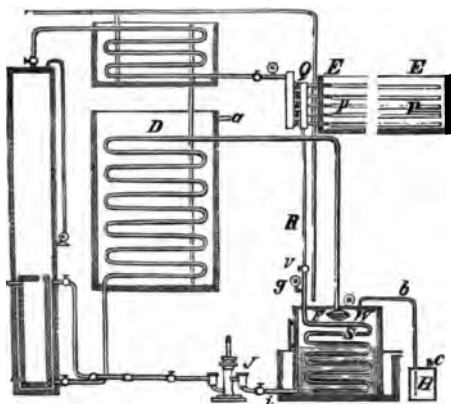


Fig. 43.

angegeben, dass Salmiakgeist von 28 bis 30° Beaumé angewendet wird, und dass in Folge der beschriebenen Einrichtung des Ammoniakkessels nur die Hälfte Salmiakgeist nöthig ist, von der sonst in Absorptionsmaschinen erforderlichen Menge. Der Absorber ist mit einem Regulirventil versehen, das automatisch wirkt, und die Röhren desselben sind leicht zu reinigen.

Die Fabrik giebt an, dass in der New-Albany-Eisfabrik eine 15 Tons-Maschine in Betrieb sei, welche in 24 Stunden 156 Blocks Eis à 110 kg = 17 120 kg erzeugte, d. h. pro Stunde 713 kg. Es sind dazu 105 Hektoliter Kühlwasser von 13,3° Celsius und pro Monat 98 000 kg Kohlen schlechter Qualität, d. i. pro Stunde 136 kg, gebraucht. Das ergibt pro Kilogramm Kohle $\frac{713}{146} = 5,24$ kg Eis. Das Resultat ist freilich nicht besonders gut.

Die starke Lösung wird zu 28 bis 30° B., und die schwache zu 13 bis 14° angegeben.

Das Eis ist hergestellt aus dem Kondensat des zur Heizung verwendeten Dampfes, ist also rein, und als aus destillirtem Wasser zu bezeichnen.

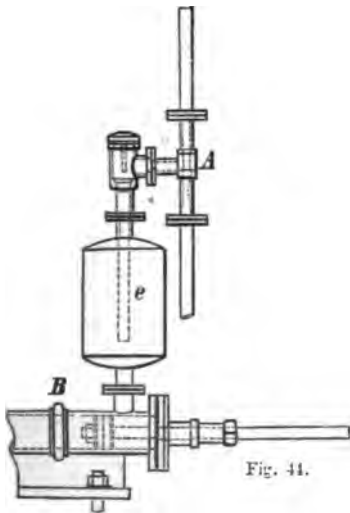
Nachstehend mögen noch einige Specialkonstruktionen von Absorptionsmaschinen beschrieben werden.

Von Stockmann in Indianapolis wird folgender Absorptionsapparat angewandt:

Der Apparat soll eine beständige Circulation des dampfförmigen und flüssigen Ammoniaks dadurch herstellen, dass die verdünnte Ammoniakflüssigkeit als ein Absorbirungsmittel verwendet wird, nachdem ihre Temperatur durch die Anwendung eines Kühlers *D*, Fig. 43, für verdünnte Flüssigkeit und durch den theilweise aus einem Refrigerator *E* abgehenden Dampf erniedrigt worden ist.

Die verdünnte Ammoniakflüssigkeit tritt in den Absorbirungsapparat *F* durch ein Verstäubungsmundstück *W*.

Nachdem der Dampf in dem Refrigerator *E* seine Funktion erfüllt hat, lässt man ihn aus den Schlangen *P* in den Aufsammler *Q* entweichen, und aus diesem Aufsammler wird der Dampf durch das Rohr *R*, welches mit Ventil *r* und Manometer *g* versehen ist, nach der Absorbirungsschlange *S* geleitet und in den Absorbirungsapparat in der Nähe des Saugrohres *i* der Pumpe *J* eingelassen. Das mit dem Hahn ausgestattete Läuterrohr *b* führt von einem oberen Theile des Absorbirungsapparates *F* nach dem Kasten *H*, in dessen Kopfplatte der Ablasshahn *e* zum Zweck der Beseitigung der atmosphärischen Luft aus dem ganzen Apparat angebracht ist.



Endlich finden sich noch folgende Patente von Kropff, die der Vollständigkeit wegen zu erwähnen sind:

Bei der Kälteerzeugungs-Maschine ist eine Pumpe Fig. 44 angebracht, welche aus dem Kühlgefäss das über Schwefelkohlenstoff stehende Wasser ansaugt und nach einem Wasserstrahlgebläse schafft. Letzteres saugt die im Kälteerzeuger gebildeten Dämpfe an, kondensirt dieselben und führt sie nach dem Kühler zurück. Ein Wasserstrahlgebläse dient ausserdem noch dazu, im Kälteerzeuger eine Luftverdünnung hervorzubringen.

Um Ammoniakverluste zu vermeiden, wird die Stopfbüchse der Pumpe *B* mit einem Windkessel *e* in Verbindung gesetzt, an welchen sich ein Wasserstrahlapparat *A* anschliesst. Der letztere fördert die durch

den Kolben der Pumpe dringende Flüssigkeit und die durch die Stopfbüchse eintretende atmosphärische Luft nach dem Vereinigungsgefäße zurück.

Bei den gewöhnlichen Haushalt- und Schiffs-Eismaschinen, die aus einem Ammoniakessel und aus einem oder mehreren Eiserzeugern bestehen, welche sowohl Eiserzeuger, als auch Kondensatoren sein müssen, lässt sich

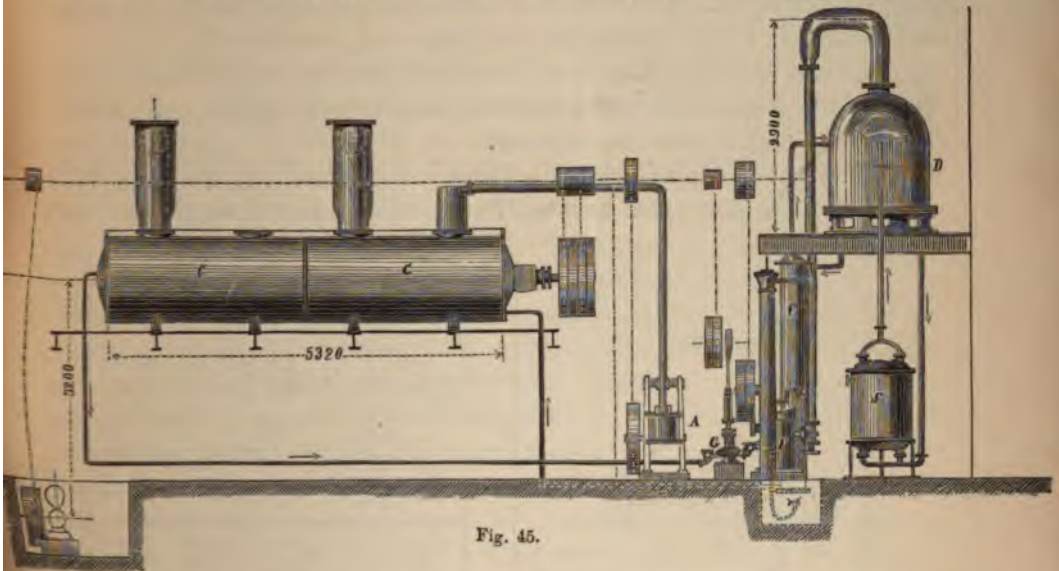


Fig. 45.

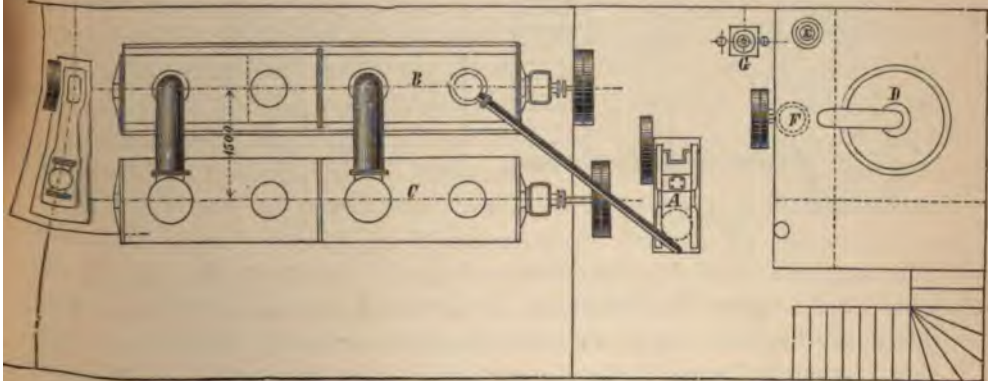


Fig. 46.

die Aenderung treffen, dass man zwei oder mehrere Ammoniakessel verwendet, die ihre Dämpfe abwechselnd in einem gemeinschaftlichen Kälteerzeuger verdunsten und in ihren Kesseln wieder zur Absorption bringen, oder dass man andererseits unter Beibehaltung von zwei oder mehreren Ammoniakesseln, die aber ihre Dämpfe in besonderen Kondensatoren verdichten, diese Dämpfe in einem gemeinschaftlichen Kälteerzeuger verdunsten und in den Kesseln wieder zur Absorption bringen lässt.

Vacuum-
maschine.

Der Internationale Vacuum-Eismaschinen-Verein in Berlin betrieb besonders lebhaft den Bau von Vacuummaschinen, die gegenüber den auf Seite 23 beschriebenen in manchen Theilen bedeutend verbessert worden sind. Die nachstehenden Beschreibungen und Abbildungen entsprechen genau der Konstruktion, wie sie bisher von diesem Institute ausgeführt wurden. Man verwandte diese Maschine nicht mehr wie früher ausschliesslich für Eisfabrikation, sondern auch zur direkten Süßwasserkühlung auf etwa $\frac{1}{2}^{\circ}$ C., ferner zur Raumkühlung mit Anwendung von Salzwasser, sowie auch zur gleichzeitigen Kühlung beider, endlich auch zur Herstellung von festem Zelleneis.

Betrachten wir zunächst die Vacuum-Kühlmaschine, welche speciell nur zur Erzeugung von kaltem Wasser dient. Der wesentlichste und

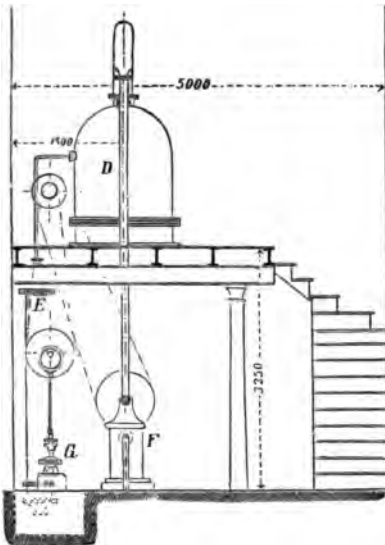


Fig. 17.

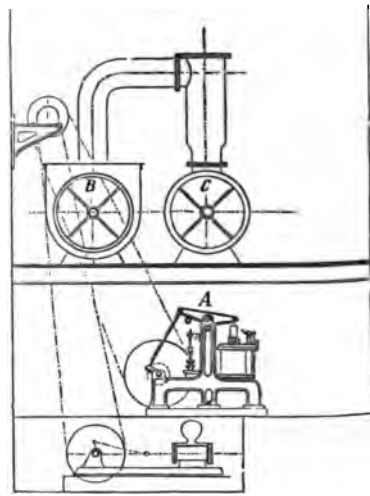


Fig. 48.

interessanteste Theil der Maschine, welcher in Fig. 45 bis 48 schematisch dargestellt ist, ist die Luftpumpe *A*. Dieselbe hat zwei Cylinder, von denen der kleinere nur gegen die Atmosphäre arbeitet, der grössere dazuerst erzeugte Luftverdünnung verstärkt, so dass es möglich werden kann ein Vacuum von $\frac{1}{1500}$ Atmosphäre = $\frac{1}{2}$ mm absolutem Druck zu erlangen. Es ist zwischen beiden Cylindern ein Receiver eingeschaltet, in welchem eine geringe Quantität Wasser eingespritzt wird, um die übergeführten Dämpfe niederzuschlagen und dadurch die kleine Pumpe gegen Lufttritt zu schützen. Bei Wasserkühlung ist nur eine Luftverdünnung von 4 mm Quecksilbersäule nöthig, die mittels der Pumpe im Absorber und Kühlapparat erzeugt wird, wobei die Pumpe auch die Luft aus dem Wasser absaugt. Das Saugrohr der Pumpe steht mit dem Absorptionsap-

rate B in Verbindung, einem horizontalen gusseisernen Cylinder, der zu **etwa** zwei Drittel mit Schwefelsäure gefüllt ist, die mittels eines Rührwerkes stetig umgerührt wird, um den darüber streichenden zu absorbirenden Wasserdämpfen eine grosse Oberfläche zu bieten. Um die durch die **Absorption** entstehende Wärme von der Schwefelsäure abzuleiten, ist der **Absorber** mit einem **Mantel** versehen, durch welchen Kühlwasser fliesst.

Der **Kühler C** ist ähnlich geformt wie der **Absorber**, und mit diesem durch weite Bogenrohre verbunden; er ist aber gegen Erwärmung zu **schützen** und wird daher mit Isolirmassen eingehüllt. In den **Kühler** wird **beständig** das zu kühlende Wasser eingesaugt und am entgegengesetzten **Ende** durch eine Wasserpumpe nach einem Sammelbassin fortgepumpt.

Im Konzentrationsapparat, der dem Internationalen Vacuum-Eismaschinen-Verein patentirt ist, wird die durch Aufnahme der Wasserdämpfe in **verdünnten** Zustand gelangte Schwefelsäure wieder eingedampft. Er **besteht** aus einer aus Hartblei hergestellten Abdampfschale **D** und dem **Säureerhitzungsapparate S**. Während früher die Abdampfung dadurch erfolgte, **dass** man durch Schlangenrohre von Blei, welche in der Schwefelsäure **gelagert** waren, Dampf von 3 Atmosphären Spannung leitete, wobei ein **Platzen** der Rohre wiederholt vorkam, besteht jetzt der **Säureerhitzer** aus **einem** Dampfgefäss aus Eisenblech, in welches Bleirohrspiralen eingesetzt **sind**, durch welche die einzudampfende verdünnte Schwefelsäure fliesst. **Wie** man sieht, ist das Verfahren umgekehrt worden, indem die **Dämpfe** in dem Eisengefässe die Bleischlangen umgeben. Durch die zwischen **Abdampfschale D** und dem tiefer stehenden Heizapparate entstehende **Circulation** wird eine Temperatur der Säure von 130° C. erreicht, wobei die **Verdampfung** des eingemischten Wassers durch Absaugung der Luftpumpe **F** **befördert** wird. Die Luftpumpe entfernt auch gleichzeitig die durch **Einspritzwasser** kondensirten Wasserdämpfe, welche sie angesaugt hat. **Auf** dem Wege vom **Absorber** nach dem **Konzentrator** passirt die Säure den **Austauschapparat E** und die **Säurepumpe G**. Ersterer ist ein aus Eisen und Hartblei hergestellter Cylinder, welcher eine Anzahl grader Bleirohre enthält. Die aus dem unteren Theile des **Konzentrators** abfliessende **eingedampfte** heisse Säure umspült die Bleirohre, während durch dieselben die **gekühlte** schwache Säure fliesst, so einen **Wärmeaustausch** zwischen beiden herbeiführend, wozu die **Pumpe G** benutzt wird. Die **kontinuirliche** **Circulation** der beiden Säuren wird durch **Einhaltung** eines gleichen **Niveaus** derselben in den betreffenden Apparaten unterhalten. Der **Konzentrationsgrad** der Säure beträgt im **Absorber** 56° Beaumé, im **Konzentrator** 59° B.

Die Art, wie die Vacuummaschine arbeitet, ist schon früher beschrieben und dürfte vollkommen klar sein. Hier sei nur noch bemerkt, dass die **Vacuumpumpe** bei 800 mm Durchmesser, 500 mm Hub und 60 Touren in

der Minute etwa 1800 cbm Wasserdämpfe in der Stunde von 0° und 4,6 mm Spannung wegschafft, und da der Kubikmeter solcher Dämpfe etwa 5 g wiegt, so beträgt die stündliche theoretische Arbeitsleistung der Pumpe, da Wasser von 10° C. 609,5 Wärmeeinheiten pro Kilogramm zur Verdampfung erfordert, $0,005 \cdot 1800 \cdot 600,5$ gleich 5482 Wärmeeinheiten. Die Pumpe würde also 548 l Wasser von 10° auf 0° abkühlen können. Es wird indessen angegeben, dass durch die begierige Aufsaugungsfähigkeit der Schwefelsäure, welche ebenfalls in dem Absorber dem Vacuum unterworfen ist, die Leistung sich auf das zwanzigfache bis fündundzwanzigfache steigere.

Sobald es sich um Abkühlung einer Salzlösung handelt, mittels welcher man Räume kühlen oder Zelleneis herstellen will, so wird in den

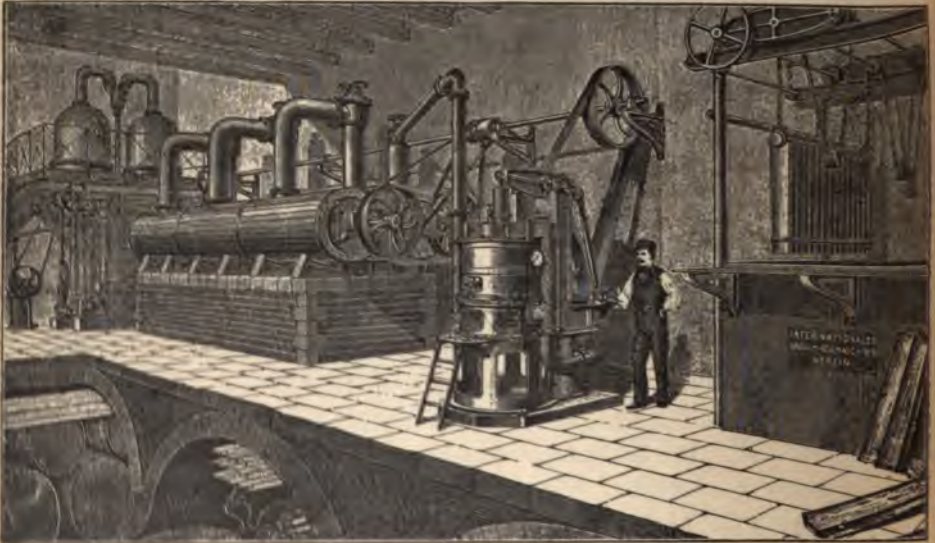


Fig. 49.

Kühler *C* Salzlösung eingeführt, welche durch Erzeugung eines äusserst tiefen Vacuums von $\frac{1}{9}$ mm Quecksilbersäule bedeutend unter 0° abgekühlt werden kann. Diese direkte Erzeugung kalter Salzlösung ist ein zweifelloser Vorzug der Vacuummaschine gegenüber allen anderen Kältemaschinen-Systemen, welche mit einem anderen Verdampfungskörper arbeiten, der erst durch Oberflächen-Abkühlung die Salzlösung zu kühlen berufen ist. Ueber die ökonomische Wirkung gegenüber anderen Maschinen habe ich in dem Abschnitt über systematischen Unterschied zwischen Absorptions- und Kompressionsmaschinen mich ausreichend ausgesprochen.

Die Fig. stellt eine solche neuere Maschine dar mit Erzeugung von Zell

Der Internationale Vacuum-Eismaschinen-Verein lieferte auch kleine Maschinen für Handbetrieb, in welchen in 15 bis 20 Minuten 3 bis 4 kg Eis hergestellt wird. Die Maschine ist in Fig. 50 abgebildet. Der horizontale Cylinder nimmt etwa 15 l Schwefelsäure auf, welche zur Absorption dient. Nachdem sie acht bis zehn Mal benutzt ist, lässt man sie in überseeischen Ländern meistens fortlaufen, oder man dampft sie separat in kleinen mitgegebenen Abdampfapparaten ein. Will man nur kaltes Wasser erzeugen, so kann man unter Weglassung der Schwefelsäure lediglich mit der Luftpumpe das Wasser in den Gasbehältern bis nahe an 0° zur Abkühlung bringen.

In der Vacuummaschine von N. Galland in Paris wird an Stelle des Wassers eine Salzlösung als Verdampfungsflüssigkeit benutzt, welche gleichzeitig zur Kälteübertragung als schwer gefrierbare Flüssigkeit dient, wodurch eine grosse Vereinfachung und Verbesserung der Nutzleistung erzielt werden kann. Magnesiumchlorür (Chlormagnesium), das er verwendet, greift Eisen nicht an und wird leicht absorbiert durch basisch Zinkchlorid, welches daher als Absorptionsflüssigkeit Anwendung findet. Zinkchlorid von 2,150 Dichtigkeit nimmt bei 16° C. auf den Liter 480 g Wasserdämpfe auf, und erlangt dann eine Dichtigkeit von 1,800 mit einer Siedetemperatur von 165° C. bei gewöhnlicher Atmosphärenspannung. Auch basisch Zinkchlorid greift die verschiedenen Metallenichtan, ausser in geringem Maasse Eisen.



Fig. 50.

Galland's
Vacuum-
maschine

Galland's Maschine ist abgebildet in den Figuren 51 bis 54. Zur besseren Uebersicht und Erleichterung des Verständnisses ist das Gesamtbild der Figur 51 durch zwei vertikale Linien in drei Abtheilungen getheilt, in welchen in *X* die Verdampfung und Eisbildung vor sich geht, in *Y* die Absorption und in *Z* die Konzentration, d. h. Eindampfung der Absorptionsflüssigkeit. Unter einander stehen die drei Abtheilungen derart in Verbindung, dass ein kontinuierlicher Betrieb erfolgen kann. In Abtheilung *X* stellt *A* den Verdampfapparat dar, *B* die Pumpe für Beförderung des Magnesiumchlorürs nach dem Reservoir *C* für die nicht gefrierende Flüssigkeit. Im Falle die Maschine zur direkten Eiserzeugung dient, ist statt des Reservoirs *C* ein Eisbildner aufgestellt. *D* ist ein zweites Reservoir, welches mit *C* durch ein Ueberlaufrohr verbunden ist. Durch das Rohr *y* tritt das Magnesiumchlorür, welches als Kälteflüssigkeit seine Schuldigkeit gethan hat, entsprechend erwärmt in *D* ein, von wo es unter Beobachtung eines gewissen Flüssigkeitsstandes, der durch einen Schwimmerhahn regulirt wird, in den Verdampfapparat *A* zurück-

tritt, was durch Anwendung eines Vacuums geschieht, welches auf den Verdampfapparat wirkt. In der Abtheilung *Y* ist *E* der Absorptionsapparat und *F* die Luftpumpe zur Erzeugung einer hochgradigen Leere. *G* ist eine Pumpe zur Beförderung der Lösung des basisch Zinkchlorid aus dem Absorptionsgefäß *E* in das Konzentrationsgefäß *J* in Abtheilung *Z*. Der Apparat *h* ist ein nasser Kondensator und *H* die dazu gehörige Luftpumpe zum Eindampfen des basisch Zinkchlorid. Die Druckleitung der Luftpumpe *F* ist mit der Saugleitung der Luftpumpe *H* verbunden. *H* erzeugt eine Luftverdünnung von 700 mm im Vacuummeter, so dass durch die Pumpe *F* nur eine Steigerung von 56 bis 58 mm auszuführen ist, um genügende Leere zu erhalten. Zum Ausgleich der Druck-

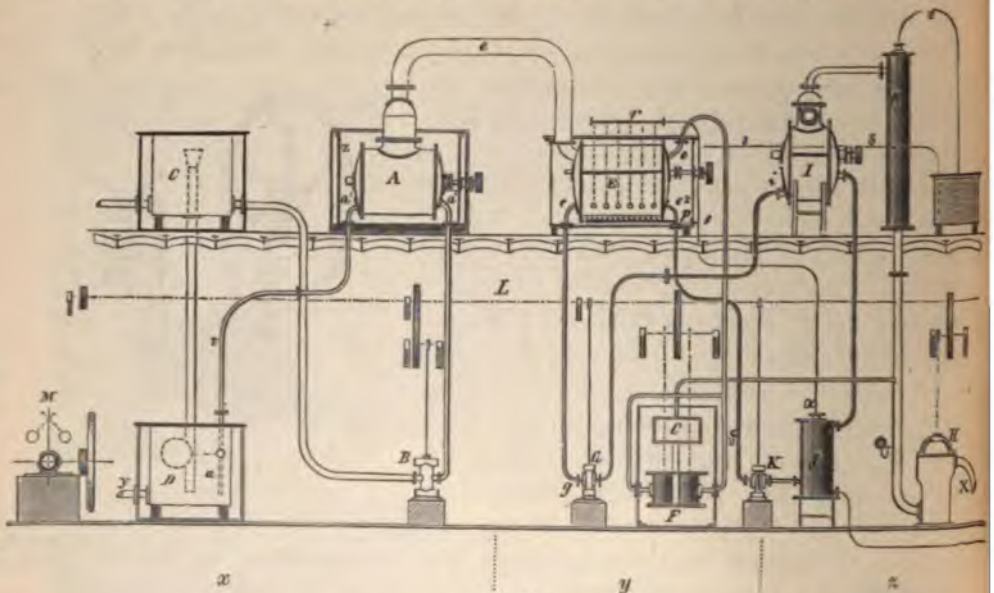


Fig. 51.

unterschiede ist eine Luftkammer *c* angebracht, während *j* einen Kübler darstellt, um die aus dem Konzentrationsapparat *J* kommende heisse konzentrierte Flüssigkeit abzukühlen, welche dann mittels der Pumpe *K* in den Absorptionsapparat *E* zurückgeführt wird. Der Verdampfapparat *A*, der Absorptionsapparat *E* und der Konzentrationsapparat *J* mit dem nassen Kondensator *h* sind in vergrößertem Maasstabe in den Fig. 52 bis 54 abgebildet, so dass mit Hülfe derselben speciellere Beschreibung folgen kann.

Der Verdampfapparat *A* ist ein cylindrischer, mit einem Dom versehener Behälter, der in einem viereckigen, gegen Erwärmung von aussen isolirten Holzkasten gelagert und von schwer gefrierbarer Lösung in demselben umgeben ist. Der Zweck dieses Bades ist, Einflüsse auf das Va-

cum durch etwa vorhandene Undichtigkeiten zu verhüten. Auf der durch die Achse des Cylinders gehenden Welle ist eine grössere Anzahl Scheiben aus perforirtem Eisenblech befestigt, die sich also mit der Welle drehen. Durch die festen Scheidewände *c* wird die zu verdampfende Flüssigkeit gezwungen, einen Schlangenweg zu gehen, und so verhindert, dass die bei *a*¹ eintretende Flüssigkeit sich nicht mit der bereits der Verdampfung ausgesetzt gewesenen vermische. Die Pfeile deuten den Lauf der Flüssigkeit an, welche schliesslich bei *a*² wieder austritt. Die Scheiben *b* drehen sich in der Flüssigkeit, benetzen sich mit derselben und befördern durch die grosse Oberfläche unter fast absoluter Luftleere die Verdampfung und die Abkühlung der umgebenden Flüssigkeit ganz ausserordentlich. Um eine zu grosse Konzentration zu vermeiden, wird die verdampfte Wassermenge durch destillirtes Wasser ersetzt, welches aus der Schlange des Konzentrationsapparates abfliesst, und so das Mag-

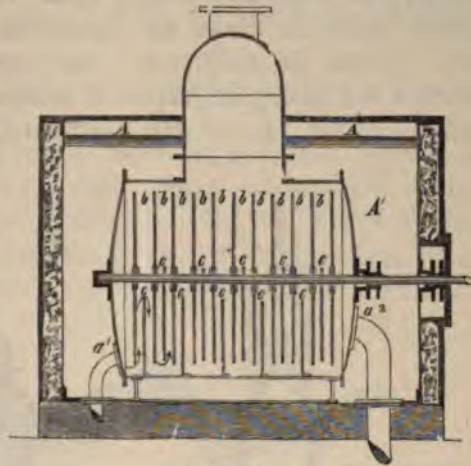


Fig. 52.

nesiumchlorür stets in geeigneter Lösung erhalten. Der Dom des Verdampfapparates *A* ist durch das Rohr *e* mit dem Absorptionsapparat *E* verbunden, der in Fig. 53 specieller abgebildet ist. Dieser befindet sich liegend angeordnet in einem eisernen Kasten, der mit Kühlwasser gefüllt ist, wodurch auch hier die Undichtigkeiten unschädlich gemacht werden. Die aus dem Verdampfer *A* kommenden Dämpfe werden hier durch basisch

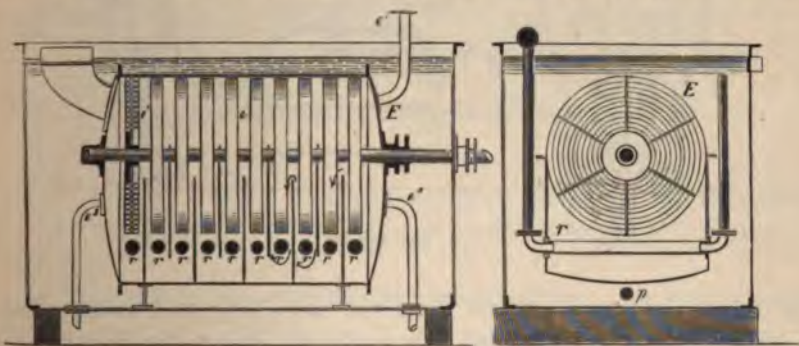


Fig. 53.

Die aus dem Verdampfer *A* kommenden Dämpfe werden hier durch basisch

Zinkchlorid absorbiert, welches durch das umgebende Kühlwasser in Abkühlung erhalten wird. Mit der Welle drehen sich Räder, welche aus konzentrisch angebrachten Reifen von dünnem Kupferblech bestehen, die an einer Rothgussnabe mittels langer radialer Scheiben in geringen Abständen von einander befestigt sind. Die eiserne Welle ist mit Kupferplattirt, damit sie durch die Absorptionsflüssigkeit nicht zersetzt werden kann. Durch die Kühlrohre r wird die Absorptionsflüssigkeit, die sich während der Absorption natürlich erwärmt, abgekühlt, indem darin Kühlwasser circulirt. Bei e^2 tritt das basisch Zinkchlorid in specifischem Ge-

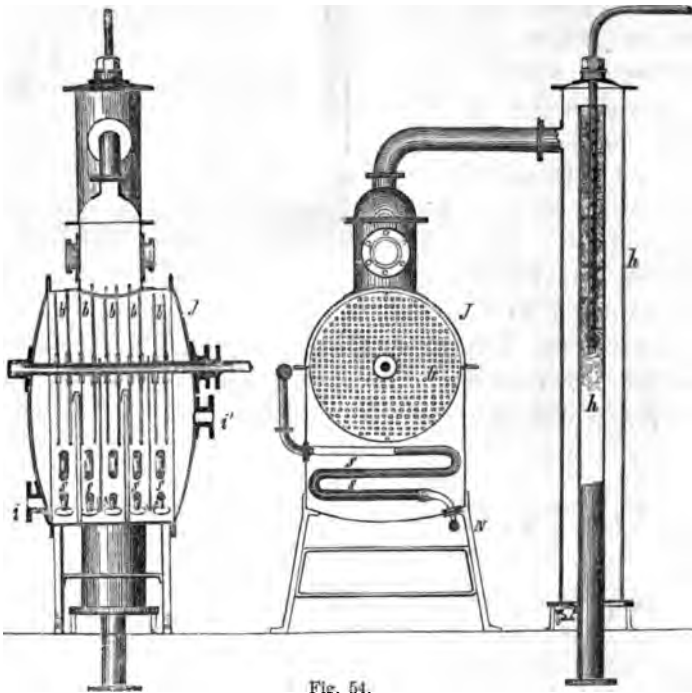


Fig. 54.

wicht 2,150 ein, macht seinen Weg wie die Pfeile andeuten, wobei die durch das Rohr e eintretenden Wasserdämpfe durch die Scheiben e^1 in die Absorptionsflüssigkeit hineingepeitscht werden, und fließt endlich mit einer Dichtigkeit von 1,800 durch das Rohr e^3 nach der Pumpe G , um von ihr nach dem Kondensationsapparat geführt zu werden. Die Wirkung der Reifenräder ist eine sehr grosse.

Der Konzentrationsapparat J in Fig. 54 ist fast wie der Verdampfapparat konstruirt, liegt aber nicht in einem von Flüssigkeit angefüllten Kasten, wie jener, sondern ist mit Dampfschlangen S versehen, welche unterhalb der Scheiben liegen und die Eindampfung der Zinkchloridlösung

bewirken. Durch die entsprechend eingeschalteten Scheidewände wird es möglich, auch die Eindampfung kontinuierlich durchzuführen, wobei sich auch hier die Flüssigkeit nach den Pfeilen bewegt. Die Wasserdämpfe, welche sich bei der Eindampfung bilden, treten in den nassen Kondensator *h* in Fig. 54, in welchem sie mit Hülfe der Luftpumpe *H* niedergeschlagen werden.

Von der Transmissionswelle *L* in Fig. 51 werden sämtliche Apparate und Pumpen in Bewegung gesetzt.

Das basisch Zinkchlorid macht also folgenden Kreislauf: Von *e*² aus circulirt es durch den Absorptionsapparat *E*, fließt in schwacher Lösung aus *e*³ nach Pumpe *G*, von wo sie durch Rohr *i* in den Konzentrationsapparat *J* gelangt. Durch denselben fließt sie im Schlangenwege nach Rohr *i*¹ und von da in den Kühler *j*, von welchem sie mittels der

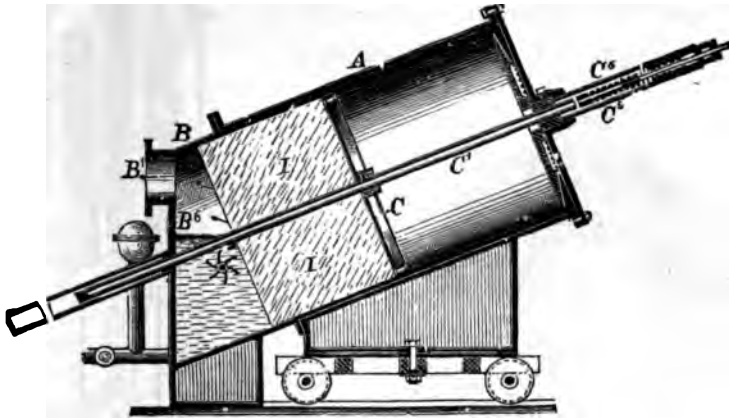


Fig. 55.

Pumpe *K* wieder in den Absorptionsapparat durch *e*² zurückbefördert wird. Sie dient also rein als Absorptionsflüssigkeit zum Ersatz der Schwefelsäure.

Der Circulationsweg der Magnesiumchlorürlösung ist folgender: Sie gelangt bei *a*¹ in den Verdampfer *A*, bewegt sich schlangenartig um die Scheiben *b* und fließt durch *a*² nach der Pumpe *B*, von wo sie nach Reservoir *C* befördert wird, durch den Eiserzeuger oder die zu kühlenden Räume oder das zu kühlende Wasser fließt und durch das Ueberfallrohr oder durch das Rohr *y* in den Behälter *D* gelangt. Hier wird die Lösung durch den Schwimmbahn in gleichem Höhenstande gehalten und nach dem Verdampfer durch das Rohr *t* bei *a*¹ wieder eingesaugt. Die in *A* in Folge der erzeugten Luftleere entstehenden Wasserdämpfe steigen durch das Rohr *e* in den Absorptionsapparat *E* über, und mischen sich durch die drehenden Reifenräder mit der Absorptionsflüssigkeit.

Das Magnesiumchlorür dient also gleichzeitig zur Kälteerzeugung an Stelle des Wassers und gleichzeitig als Kälteflüssigkeit zur Eisbildung oder Abkühlung von Wasser oder Räumen.

Die nicht zu leugnenden Nachteile in Anwendung von Schwefelsäure können hierdurch allerdings vermieden werden, und die Eiserzeugung kann in derselben Weise sich vollziehen wie in Maschinen, welche mit Ammoniak, schwefliger Säure u. s. w. arbeiten, so dass festes Klareis hergestellt werden kann.

Patton's
Vacuum-
apparat.

Es ist viel versucht worden, die Vacuummaschinen zu verbessern, so hat J. Patton in New-York das Zufrieren der Oberfläche des dem Vacuum ausgesetzten Wassers zu verhüten gesucht durch eine Anzahl Apparate verschiedener Konstruktion, wovon nur Folgendes erwähnt werden mag: Ein drehbares cylindrisches Gefäss *A* in Fig. 55 ist auf einen geneigten

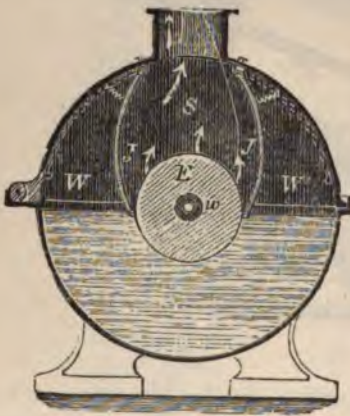


Fig. 56.

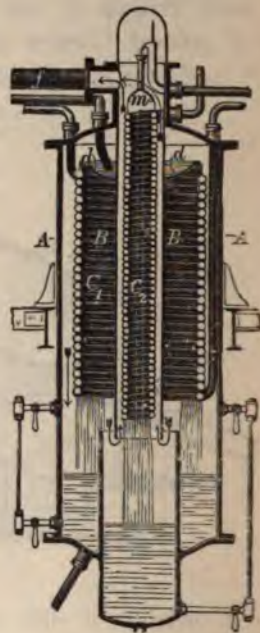


Fig. 57.

Wagen montirt und an seinem unteren Ende durch Flanschen an das gleichfalls cylindrische Gefäss *B* von etwas geringerm Durchmesser angeschraubt. Im Cylinder *A* dreht sich mit der rotirenden Welle C_1 der darauf befestigte Gleitkolben *C*, der Behälter *B* ist durch die Querwand B_6 in eine untere Wasserkammer zum Anfeuchten des Eisblockes *J* und in eine obere, welche mit der Luftpumpe durch den Stutzen B_1 verbunden ist, getheilt. Der unter beständiger Rotation des Kolbens wachsende Eisblock drückt denselben allmählich immer weiter in den Cylinder *A* hinein, bis schliesslich der schraubenförmige Theil C_5 der hohlen Welle C_1 mit dem Gewinde des Rohres C_6 in Eingriff tritt, wodurch der Kolben mit dem Eisblock ganz in den Cylinder gezogen wird. Nach Ablösung

des Cylinders *A* von dem Gefäss *B* durch Lösen der Flanschen und Fortfahren des Wagens wird der Eisblock gelöst, indem man etwas Dampf in die hohle Welle lässt, worauf er aus dem Cylinder herausgleitet.

Ein anderes Verfahren von Patten, um einen festen Eisblock zu erhalten, ist das folgende: In dem halb mit Wasser gefüllten Apparate Fig. 56 rotirt eine Walze *w*, um welche sich kontinuierlich Eis bildet durch Ansetzen von Eisschichten, wodurch ein cylindrischer Eisblock *E* entsteht. Der Eiscylinder wird stets berührt durch zwei sich in Charnieren drehende Platten *J*, welche den Cylinder in zwei Abtheilungen trennen, und zwar in den mit der Pumpe verbundenen Saugraum *S* und den sogenannten Wasserraum *W*, in welchem der Wasservorrath vor dem Zufrieren geschützt ist. Der hin- und hergehende Mechanismus zum Vertheilen des Wassers auf einer Platte oder dem sich bildenden Eisblocke in einem anderen Apparate besteht aus mehreren durch Röhren verbundenen umgewendeten Trögen, welche durch einen Schlauch Wasser zugeführt erhalten und durch eine Kurbel bewegt werden.

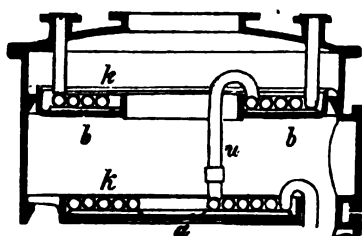


Fig. 58.

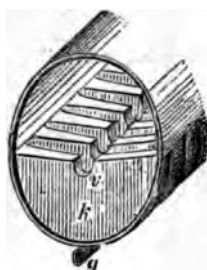


Fig. 59.

Emil Welz in Breslau schlägt folgenden Apparat vor, um Salzlösung zu verdampfen und in Schwefelsäure oder Natronlauge absorbiren zu lassen. Zwischen den beiden concentrischen Cylindern *A* und *B* Fig. 57 sollen durch die dicht auf einander liegenden Spiralen *C*₁ und *C*₂ zweier Schlangenrohre zweiseitige gewellte Berieselungscylinder gebildet werden, durch welche Kühlwasser strömt. Die Salzlösung rieselt aus der Schale *d* in feiner Vertheilung zu beiden Seiten der äusseren Spiralen *C*₁ herab, die Schwefelsäure dagegen über ein Vertheilungsblech *m* über beide Seiten des inneren Schlangenrohres *C*₂. Die von der Salzlösung aufsteigenden Wasserdämpfe werden von der mit dem Rohre *f* verbundenen Luftpumpe abgesaugt und der Schwefelsäure in aufsteigender Richtung behufs Absorption entgegengeführt. Die dabei frei werdende Wärme soll durch Kühlwasser aufgenommen werden, welches durch das Schlangenrohr *C*₂ fliesst.

Welz's Absorption apparatus

Ein Absorptionsapparat, auf Gegenströmung beruhend, wird von Kux in Berlin empfohlen. In Fig. 58 liegen in einem vertikalen Cylinder

Kux's Absorption apparatus

über einander abwechselnd kreisförmige oder ringförmige flache Schalen ab mit feinen Löchern, ferner in den Schalen auf Rippen etwas über dem Boden der Schalen spiralförmige Kühlschlangen k , welche an ihren Enden stets Ueberfallrohre tragen. Die Schwefelsäure rieselt von Schale zu Schale herab und absorbiert die durch den Cylinder streichenden Wasserdämpfe. Die Kühlschlangen k sollen die Schwefelsäure kühl halten und die bei der Absorption entstehende Wärme aufnehmen.

Egell's Absorptions-apparat.

H. Egells in Berlin hat einen liegenden Cylinder Fig. 59 in eine Anzahl mit Schwefelsäure gefüllte Abtheilungen getheilt, welche durch einfache Scheidewände oder Kühltaschen k abgegrenzt und nur durch Ver-

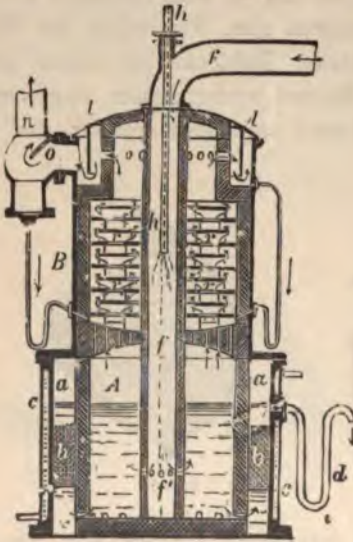


Fig. 60.

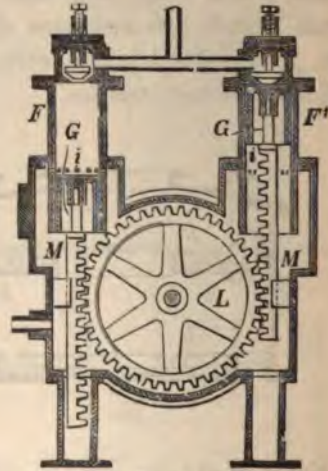


Fig. 61.

tiefungen v in den Scheidewänden derartig verbunden sind, dass die Schwefelsäure die Abtheilungen kontinuierlich durchfließen kann. Während die Wasserdämpfe durch den Cylinder streichen, wird die Absorption durch ein Rührwerk befördert. Durch ein gemeinschaftliches Rohr g können die Abtheilungen erforderlichenfalls entleert werden.

Schwefelsäure-Konzentrations-apparat.

Ein Konzentrationsapparat für die Schwefelsäure ist in Fig. 60^r abgebildet, den der Internationale Vacuum-Eismaschinen-Verein anwendete. In einem Behälter A aus säurefesten Steinen, welcher von einem eisernen oder hölzernen Mantel B umgeben ist, befindet sich ein vertikales Rohr f , in welches heisse Luft eingeführt wird, während die einzudampfende Schwefelsäure durch das Rohr h eingespritzt und mit der heissen Luft innig gemischt wird. Das Gemisch wird durch die kleinen Löcher f_1 in die im unteren Theil des Cylinders A befindliche Säure gedrückt. Letztere ist von einem Ringraume a mit Filter b umgeben, sowie mit einem Wasser-

Intel *c*. Die mit der nach oben steigenden Luft mitgerissenen Säure-
teilchen schlagen sich auf den Platten *r* nieder, wozu auch die Zunge *l*
und das Führungsblech *o* im Abzugsrohre *n* dienen.

Condict und Rose in New-York lassen Ammoniak im Vacuum
verdampfen. In Fig. 61 strömt oben die konzentrierte Ammoniakflüssig-
keit kontinuierlich ein, während unten die erschöpfte Lösung, welche der
Einwirkung einer Luftpumpe unterlegen hat, abgeführt wird. Die abge-
zogenen Dämpfe werden in gewöhnlicher Weise von der erschöpften Lösung
absorbirt. Die Pumpencylinder *F* und *F*₁ zum Pumpen der Ammoniak-
dämpfe stehen durch seitliche Oeffnungen *i* mit einer Einlasskammer in
Verbindung, durch welche die Dämpfe in den Cylinder eintreten. Die
entzilosen Kolben *G* werden durch Zahnstangen *M* und das Rad *L* auf
und ab bewegt.

Condict und
Rose's
Vacuum-
apparat.

Hugo Nehrlich in Berlin konstruirte eine Maschine, um ohne Zu-
hülfenahme einer Absorptionsflüssigkeit
flüssige Stoffe, als Bierwürze, Milch
und dergl. direkt zu kühlen.

Die Maschine Fig. 62 besteht
aus einem luftdicht verschlossenen
Gefäße mit oder ohne Rührwerk, mit
oder ohne Scheidewände, das ent-
weder kontinuierlich von der abzu-
kühlenden Flüssigkeit durchströmt,
oder welches auf einmal damit be-
schickt wird.

Auf dem Gefäß sitzt ein Pumpwerk zum Wegschaffen der
Dämpfe, bestehend aus zwei einfachwirkenden aufrechten, oben offenen
Cylindern, deren Kolben und Druckventile beständig von Wasser bedeckt
sind, deren Saugventile gesteuert werden, deren schädliche Räume auf ein
Minimum reducirt sind, und in welche, wenn der Kolben abwärts geht,
direkt eingespritzt wird.

Endlich gehören hierher noch die bereits erwähnten Apparate von
C. M. Tessié du Motay in Paris und A. J. Rossi in New-York.

Tessié du
Motay und
Rossi's
Mischung.

Es werden zwei leichtflüchtige Flüssigkeiten, von denen die eine in
der anderen löslich ist, unter Anwendung des Vacuums zu rascher Ver-
dunstung gebracht. Dies geschieht in Eismaschinen gewöhnlicher Kon-
struktion mit Saug- und Druckpumpen. Bei der Kondensation der Dämpfe
durch Druck wird wiederum die Lösung gebildet. Vornehmlich wird eine
Lösung von schwefliger Säure in Aether oder von Ammoniak in Aether
angewendet. Aether absorbirt 33 bis 70 Proc. seines Gewichtes an schwef-
liger Säure. Während Aether allein eine Temperaturerniedrigung von

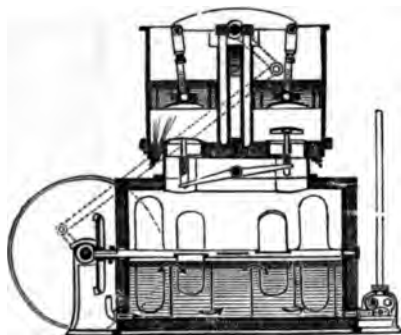


Fig. 62.

Nehrlich's
Vacuum-
apparat.

$8\frac{1}{2}^{\circ}$ hervorbringt, verursacht Schwefligsäureäther (33 procentig) eine solche von $13\frac{1}{2}^{\circ}$, Ammoniakäther (6 procentig) eine solche von $12\frac{1}{2}^{\circ}$.

An Stelle der genannten Lösungen führen die Erfinder noch an: Lösung von schwefliger Säure in Schwefelkohlenstoff (Absorption 143 Proc.; Temperaturerniedrigung $8\frac{1}{2}^{\circ}$); von schwefliger Säure in Chloroform (Absorption 5 Proc.; Temperaturerniedrigung $5\frac{1}{2}^{\circ}$); bei der Lösung von weniger als 1 Proc. Chlormethyl beträgt die Temperaturerniedrigung 10° , während Chloroform allein die Temperatur nur um $24,9^{\circ}$ herabdrückt.

Die weiteren Versuche und Vorschläge gehen eigentlich schon in das Kompressionssystem über, weil schliesslich die angewandten Stoffe

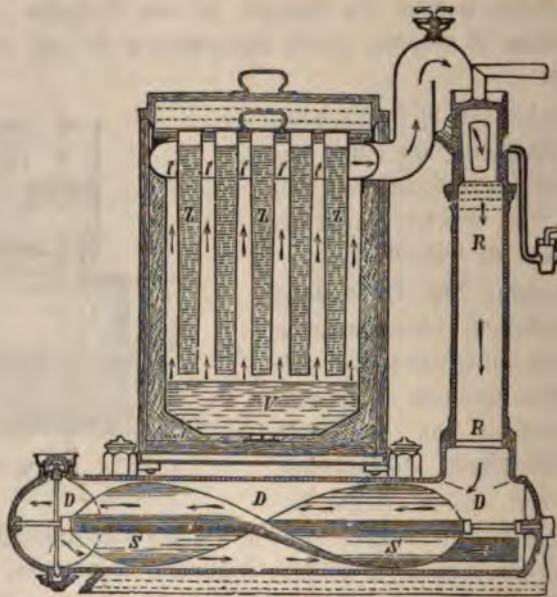


Fig. 63.

unter Druck verdampfen. Des Zusammenhanges wegen seien sie aber an dieser Stelle mitgetheilt. Sie beruhen auf dem in den Ammoniak-Eismaschinen angewendeten Princip. Als leicht condensirbares Gas wird aber Schwefligsäureanhydrid benutzt, welches von verschiedenen Aetherarten und Alkoholen absorbirt wird. Der Siedepunkt der letzteren liegt über dem des Wassers; die schweflige Säure wird aber aus den Lösungen in jenen schon bei niedriger Temperatur (3 bis 10° C.) entlassen. Als besonders zur Absorption geeignete Aether u. s. w. werden folgende aufgeführt:

	Siedepunkt	Absorptionsgrösse
Oxalsäureäther	184°	48 Proc.
Amylalkohol	132°	20-- 25 "
Schwefelsäure-Methyläther	188°	— "
Ameisensäure-Amyläther	116°	24 "
Essigsäure-Amyläther	125°	27 "

Minder vortheilhaft wegen niedrigen Siedepunktes oder eines geringen Absorptionscoëfficienten sind:

	Siedepunkt	Absorptionsgrösse
Alkohol	79°	20—25 Proc.
Essigsäureäther	70°	52 "
Salpetersäureäther	85°	— "
Methylalkohol	66°	40 "
Glycerin	315°	6—8 "

Diese mit schwefliger Säure gesättigten Flüssigkeiten sind unzündbar und gefahrlos zu transportiren. Letzteres kann nach dem Zweck ihrer Herstellung verschieden sein. Das durch Einwirkung der wässrigen Wärme entweichende Schwefligsäuregas wird durch Anwendung von Wasserkühlung und Druck von 2,8 bis 4,2 Atmosphären condensirt. Um den Druck zu vermindern (bis auf 1,4 bis 1,7 Atmosphären), kann eine Kühlflüssigkeit angewendet werden, die sich noch unter der Temperatur der entweichenden schwefligen Säure (70° etwa) verflüchtigt, z. B. Aether, Schwefelkohlenstoff, Gallin. Deren Dämpfe werden durch Wasserkühlung verdichtet.

Das flüssige Schwefligsäureanhydrid gelangt in die Röhren des Gefrierbehälters, wo dasselbe sich wieder verflüchtigt, um dann von dem Absorptionsmittel wieder aufgenommen zu werden. Die dadurch verursachte Druckverminderung trägt zum Sinken der Temperatur bei.

Rossi und Beckwith in New-York benutzen wiederum Ammoniakdämpfe.

Das Verfahren besteht darin, Kälte zu erzeugen mittelst der Lösung eines flüchtigen Körpers, wie Ammoniak, in einem nicht flüchtigen Körper, wie Glycerin, indem man durch Druckverminderung den aufgestellten, flüchtigen Körper zum schnellen Verdunsten bringt und die hierbei gebundene Wärme anderen Körpern entzieht.

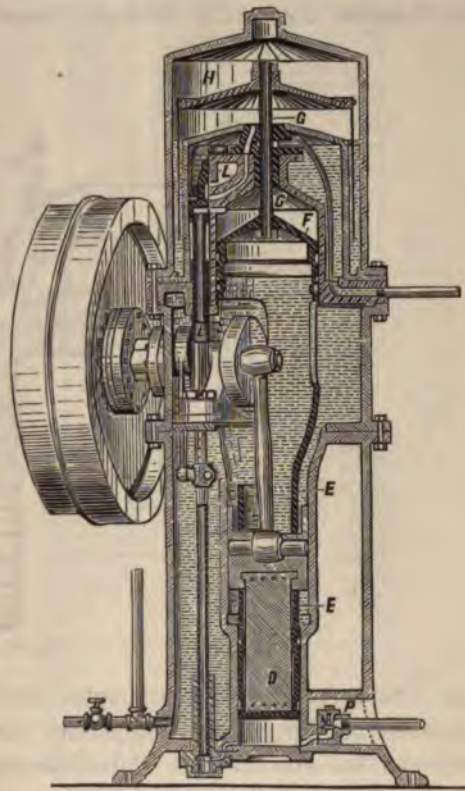


Fig. 61.

Rossi und Beckwith's Druckverminderung.

Dies geschieht in mehreren Refrigeratoren, aus denen Luftpumpen das Ammoniak auspumpen.

Das Ammoniak wird dann unter Wiederherstellung des Druckes in einem kühl gehaltenen Gefäss wieder in dem erschöpften Glycerin aufgelöst.

Cseto's
Vacuum-
maschine.

Julius Csete in Birmingham lässt direkt im Vacuum gefrieren. Die Vacuum-Gefrierkammer *V* in Fig. 63 mit den Zellen *Z* enthält Salzsoole, durch deren Verdunstung im Vacuum die Kälte erzeugt wird. Unterhalb der Kammer liegt ein U-förmiges Doppelrohr *D*, welches die Schwefelsäure

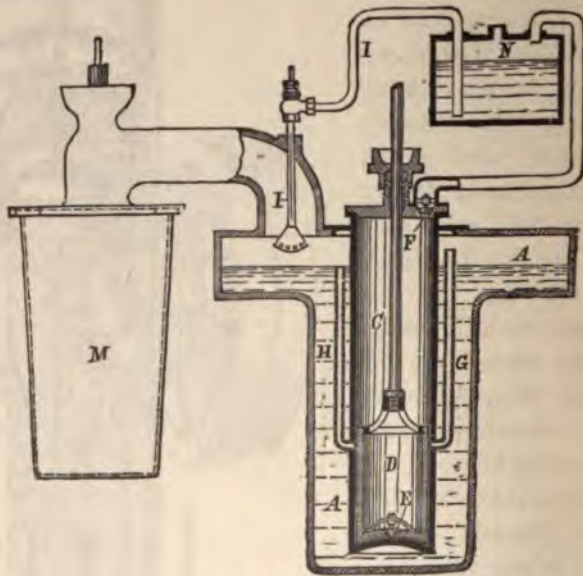


Fig. 65.

zur Absorption des Wasserdampfes aufnimmt und mit Röhrenschncke *S* versehen ist. Auf dem Doppelrohr sitzen zwei vertikale Rohre *R*, von welchen das eine mit der Gefrierkammer, das andere mit der Luftpumpe in Verbindung steht.

Patton's
Vacuum-
pumpe.

John Patten Manufacturing Company in New-York wendet die nachstehend beschriebene Vacuumpumpe Fig. 64 an, die aus drei über einander liegenden Kammern mit gemeinschaftlicher Mittellinie besteht. Die Kammern sind einfachwirkende Pumpen von stufenweise abnehmender Grösse derart, dass die oberste *H* eine in einem Gefässe eingeschlossene Glockenpumpe ist, während die mittlere *F* und die unterste *D* Kolbenpumpen sind, deren Kolben unter sich und mit der Glocke *H* durch Hülse *E*, bezüglich Stange *G* verbunden sind und gemeinschaftlich bewegt werden, wobei ein zwangläufig gesteuertes Ventil *L* die Luft beim Aufgange des Kolbensystems unter die Glocke *H*, von dort

Niedergang unter den Kolben der zweiten Pumpe *F* und beim Hochgehen unter den Kolben der untersten kleinsten Pumpe *D*. Von dieser letzteren findet durch Ventil *P* die Entleerung des Kessels statt.

Edward J. Hardy in New York saugt mit Hilfe einer in dem Säurebehälter *A* luftdicht eingesetzten Pumpe *CD* durch Rohr *G*, sowie den in *M* sich befindenden Wasserdampf, durch Rohr *H* Schwefelwasserstoff und zwar beim Aufsteigen des Kolbens *D*. Beim Niedergange des Kolbens *D* wird dieses Gemisch durch die Ventile *E* und *F* in den Speisewasserbehälter *N* geschafft, aus dem die Säure durch das Rohr *K* brauseartig dem Kessel *A* zugeführt wird. Durch die Pumpe *CD* angesaugte Säure bildet für die Ventile der Rohre *H* einen Flüssigkeitsverschluss, so dass die Abdichtung des Pumpenkolbens besteht.

Eine besondere Konstruktion einer Absorptionsmaschine zeigt noch der von Beetz in Paris konstruierte Apparat Fig. 66, in dem die übereinander angeordneten Gefäße, Kondensator und Verdampfer *A*

ein Zwischengefäß *B* getrennt sind, welches den Zweck hat, die ammoniak gesättigte Lösung aus *C* mittelst der durch Schieber *F* gesteuerten Ventile *j* und *n* dem geheizten Verdampfgefäß *A* immer dann zuzuführen, wenn das Zwischengefäß, das durch Rohr *l* mit dem Kondensator in Verbindung steht, mit gesättigter Lösung aus *C* gefüllt ist. Das

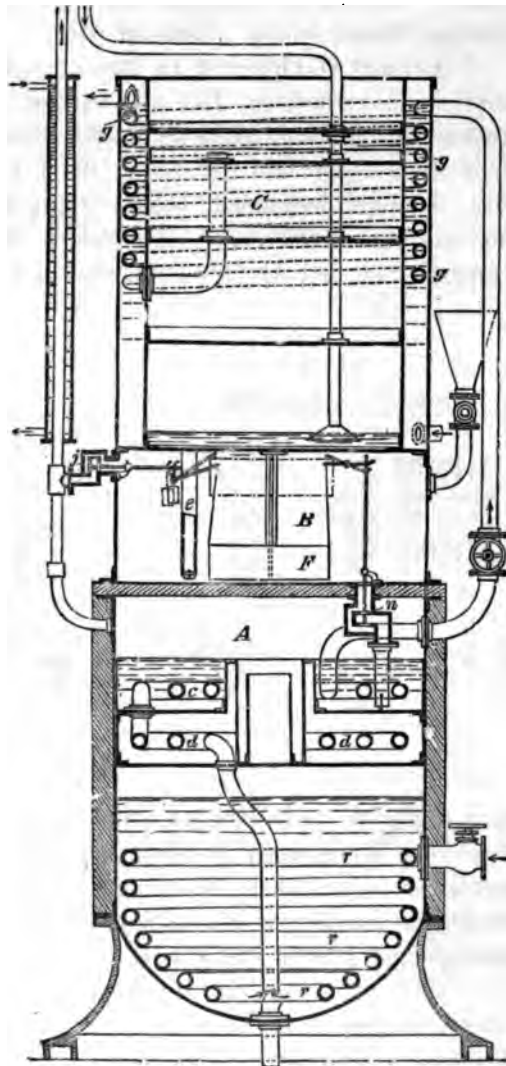


Fig. 66.

Hardy's Vacuum-pumpe.

Beetz's Absorptionsmaschine.

durch Dampf in den Schlangen *r*, *d*, *c* ausgetriebene Ammoniak wird in Folge seiner Spannung der Kältemaschine zugeführt, aus welcher es durch Absorption in dem mit perforirten Zwischenwänden versehenen Kondensator *C* von dem in letzterem befindlichen und durch die Schlange *g* gekühlten Wasser wieder abgesaugt wird.

Osenbrück's
kombinirte
Maschine.

August Osenbrück in Hemelingen sucht die Absorptionsmaschine dadurch zu verbessern, dass er Abdampf der Betriebsdampfmaschine zum Austreiben des Ammoniaks im Kessel benutzt, und ferner, dass er mittels eines Kompressors die Absorption unter Druck vor sich gehen lässt. Es wird dadurch bedeutend höhere Sättigung erreicht, welche nach den theoretischen Erörterungen im vorigen Kapitel zu wesentlich höherem Nutzungsgrade der Absorptionsmaschinen führt. Die Dämpfe des im Gene-

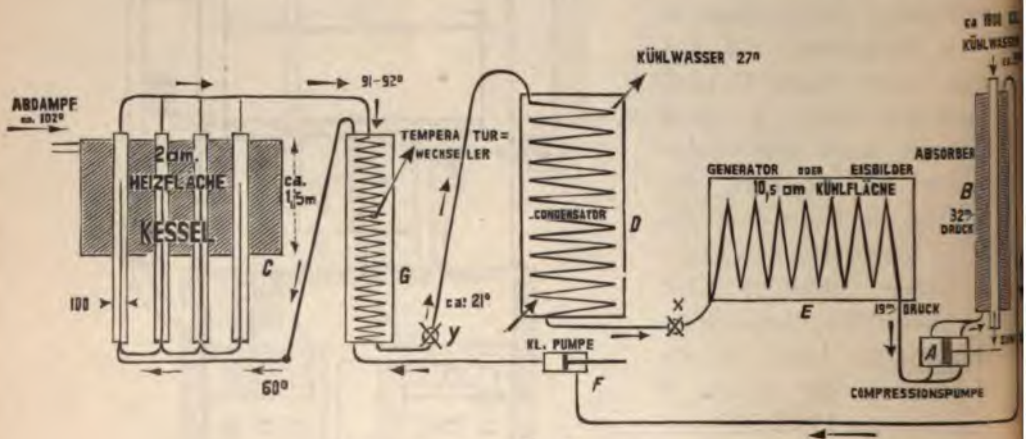


Fig. 67.

erator *E* Fig. 67 entweichenden Ammoniaks werden unter geeignetem Druck durch den Kompressor *A* abgesaugt und in den Absorber *B* befördert, und zwar unter einem bestimmten Druck, bei welchem unter konstant gehaltener Temperatur die hochgradige Sättigung erzielt wird. Durch die Speisepumpe *F* wird die gesättigte Lösung aus dem Absorber entnommen, und, nachdem sie den Temperaturwechsler *G* passiert, dem Verdampfungsapparat *C* zugeführt, während gleichzeitig ein entsprechendes Quantum erschöpfter Lösung, welche in dem Temperaturwechsler *G* auf Absorptionstemperatur abgekühlt ist, von dem Verdampfungsapparat *C* dem Absorber *B* zugeführt ist. Diese erschöpfte Lösung sättigt sich mit den eintretenden Dämpfen aus dem Generator *G*, so dass der für den Betrieb der Maschine gewählte Druck im Absorptionsapparate *B* konstant erhalten werden kann. Je höher die Temperatur des disponiblen Kühlwassers ist, desto höher wird der Absorptionsdruck gehalten werden müssen, etwa 3 bis 5 Atmosphären, von welcher der Druck abhängt.

Zur Austreibung des Ammoniaks in sehr stark gesättigter Lösung genügt nun eine so niedrige Temperatur, dass der Abdampf der den Kompressor *A* treibenden Dampfmaschine dazu ausreicht, falls eine richtige Druckvertheilung in Absorber *B* und Heizkessel *C* vorhanden ist. Je höher die Temperatur des disponiblen Kühlwassers ist, desto höher ist auch der Druck, welcher für die Verflüssigung des flüchtigen Körpers im Kondensator *D* erzeugt werden muss, und davon hängt auch der Druck im Absorber ab, der durch den Kompressor überwunden werden muss. Jedenfalls ist er niedriger, als der Kompressordruck in Kompressionsmaschinen, so dass auch der Arbeitsaufwand geringer ist. Da die Wärmequelle im Verdampfkessel aber der Abdampf ist, so würde ein sehr hoher Nutzeffekt der Maschine denkbar sein, wenn die Absorptionsmaschinen günstiger arbeiten würden, als es thatsächlich der Fall ist.

Die Tabelle XX ist das Resultat von Beobachtungen an dieser Maschine, aus welcher die Steigerung der Spannung im Kondensator hervorgeht, oder mit anderen Worten die gesteigerte Leistung der Maschine.

Tabelle XX.

Temperatur des Beheizungs- dampfes Grad Cels.	Gewicht des kondensirten Dampfes kg	Gewicht des destillirten Am- moniaks kg	Gewicht des pro 1 kg Dampf destillirten Am- moniaks kg	Spannung des Ammoniak- dampfes in Atm. Ueber- druck: im Verdampferkessel		Procentgehalt der Lösung an Ammoniak: im Verdampferkessel		Be- zifferung der Versuche
				p in Atm. bei Beginn	p_1 in Atm. am Schlusse	in Proc. bei Beginn	in Proc. am Schlusse	
100,5	10,4	10,07	0,9687	20	14	63,482	41,08	1
101	9,785	7,215	0,735	15	13	50,27	33,14	2
101 — 112	3,455	2,0825	0,6	15	10	33,14	25,6	3
112 — 118	1,00	0,52	0,52	13	10	25,6	23,56	4
118 — 157	5,21	1,8525	0,3556	14,5	10	23,56	14,95	5
157 — 167	2,35	0,8125	0,345	10	7	14,95	10,5	6

Bei einem von dem Verfasser angestellten Versuche wurden in $7\frac{1}{2}$ Stunden mit der Versuchsmaschine 507,7 kg Eis erzeugt, und ferner waren der Salzlösung noch von Beginn des Versuchs an 13 980 W. E. entzogen. Wird der Kältebedarf zur Erzeugung von 1 kg Eis zu 100 W. E. gerechnet, so ist die Leistung der Maschine in $7\frac{1}{2}$ Stunden $50770 + 13980 = 64750$ W. E. gewesen, oder pro Stunde 8633 W. E.

Da bei dem Versuche im Durchschnitte 56,52 kg Dampf pro Stunde bei sorgfältiger Messung, und zwar incl. der Betriebskraft, gebraucht wurden, so war die Leistung pro kg Dampf $\frac{8633}{56,52} = 152,7$ W. E., also jedenfalls eine bedeutende Mehrleistung gegenüber reinen Absorptionsmaschinen.

Verdampfungsmaschinen mit Kompressionspumpe.

Linde's
Kom-
pressions-
maschinen.

Hierher gehören vor allen Dingen die Linde'schen Maschinen, die mit Ammoniak arbeiten, und die von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen in Wiesbaden geliefert werden und in Deutschland von der Vereinigten Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg A.-G. und von der Sächsischen Maschinen-

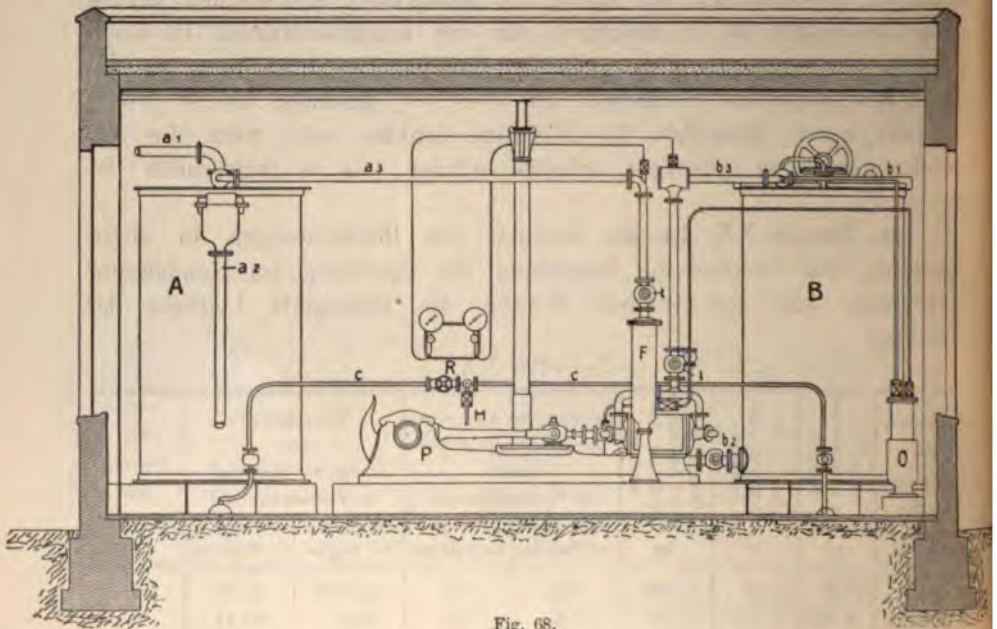


Fig. 68.

fabrik vorm. Rich. Hartmann in Chemnitz, sowie von Gebr. Sulzer in Winterthur in der Schweiz, E. Skoda in Pilsen und Ringhofer in Smichow, der Société Française des Constructions Mécaniques in Paris, von der Linde British Refrigerating Cy in London, Fred. G. Wolf in Chicago und der Rigaer Eisengiesserei und Maschinenfabrik vorm. Felser & Co. in Riga gebaut worden. Die Fig. 68 und 69 bilden dieselbe ab.

Es ist bereits nachgewiesen worden, dass von allen Verdampfungsmaschinen mit Kompressionspumpe diejenigen, in welchen Ammoniak verwendet wird, am vortheilhaftesten sind, und will ich daher hier mich mit Beschreibung der Maschinen selbst begnügen.

Die Kälteerzeugung beruht bei Linde's Maschinen darauf, dass wasserfreies flüssiges Ammoniak bei niedrigen Temperaturen verdampft, ebenso wie bei den Absorptionsmaschinen, wobei es, ebenfalls wie dort, die zur Verdampfung nöthige latente Wärme von der Umgebung auf-

nimmt. Hier wird nun aber, entgegen der Einrichtung bei Absorptionsmaschinen, die Zurückführung des Ammoniakdampfes in den flüssigen Zustand durch eine Kompressionspumpe in Verbindung mit einem Oberflächenkondensator bewirkt. Die niedergeschlagene Ammoniakflüssigkeit strömt in das Verdampfungsgefäß zurück und gelangt wieder zur

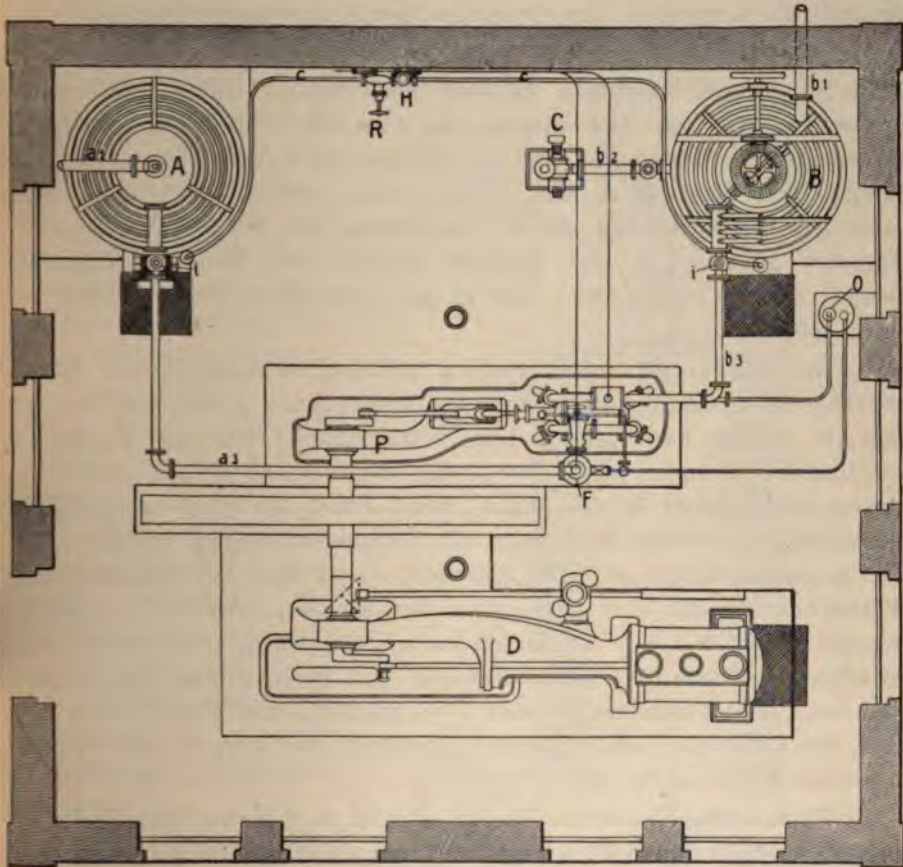


Fig. 69.

Verdampfung, so dass dieselbe geringe Ammoniakquantität kontinuierlich diesen Kreislauf durchführt.

Diesem einfachen, bereits früher angedeuteten Prozesse entsprechend besteht die Kälteerzeugungsmaschine von Linde der Hauptsache nach aus drei Theilen:

Einem Apparat, in welchem die Ammoniakflüssigkeit verdampft und dabei die Wärme der Umgebung entzieht, dem Verdampfer.

Einer Kompressionspumpe, welche die entstehenden Ammoniakdämpfe einsaugt und soweit komprimirt, dass sie im Kondensator durch

Kühlwasser niedergeschlagen werden können, so dass also das Kühlwasser die ganze von Ammoniak bei niedriger Temperatur aufgenommene Wärme bei gewöhnlicher Temperatur wieder wegschaffen kann.

Ein Rohr verbindet den Kondensator und Verdampfer mit einander, um die Ammoniakflüssigkeit aus dem einen in den anderen treten zu lassen. Die Regulirung des Quantums der übertretenden Flüssigkeit erfolgt durch ein in das Rohr eingeschaltetes Regulirventil.

Die älteren Maschinen besaßen noch einen kleinen Destillationsapparat, welcher zur Abdestillation des Ammoniaks aus dem im Handel vorkommenden Salmiakgeist und zur Füllung der Maschine mit Ammoniak diente. Seit einer Reihe von Jahren bildet wasserfreies flüssiges Ammoniak eine Handelswaare und wird unmittelbar aus den eisernen Bomben, Flaschen genannt, in die Maschine gefüllt. Die Destillationsapparate werden dadurch entbehrlich. Nur in ganz besonderen Fällen werden sie noch gebraucht.

Der Verdampfer *B* besteht aus mehreren schmiedeeisernen Spiralrohren, die in ihrer ganzen Länge aus einem Stück geschweisst sind, so dass im Innern des Apparats keine Verbindungsstellen oder Flanschendichtungen vorhanden sind. Durch das Regulirventil *R* tritt unten die Ammoniakflüssigkeit in das Innere dieser Rohre ein und verdampft in denselben. Am oberen Ende saugt die Kompressionspumpe die entwickelten Ammoniakdämpfe ab. Die Spiralrohre sind von der abzukühlenden Flüssigkeit umspült, und zwar, wenn Temperaturen unter 0° C. erreicht werden sollen, wie z. B. bei Eisfabrikation, von schwer gefrierenden Salzlösungen, meistens Chlorkalciumlösungen mit einer kleinen Beimengung von Soda. Für Temperaturen über 1° C. genügt reines Wasser. Den Eintritt der abzukühlenden Flüssigkeit vermittelt das Rohr b_1 , der Austritt derselben findet bei b_2 statt.

Diese durch eine kleine Pumpe *C* stets in lebhafter Circulation erhaltene gekühlte Flüssigkeit kann nun zum eigentlichen Kühlzwecke verwendet werden, wie z. B. zur Eisfabrikation, indem man mit Wasser gefüllte Zellen einhängt; zur Kühlung von Bier durch direkte Circulation in den Bierkühlapparaten; zur Luftkühlung, indem man dieselbe mit möglichst grosser direkter oder indirekter Oberfläche der zu kühlenden Luft aussetzt u. s. w.

Der Kondensator *A*, siehe auch Fig. 70, ist in derselben Weise, wie der Verdampfer, aus einer Anzahl schmiedeeiserner, in einem Stück geschweisster Spiralrohre hergestellt. In der Regel sind diese Spiralen cylindrisch gewickelt, konzentrisch in einander gesteckt und innen und aussen von einem schmiedeeisernen cylindrischen Mantel umgeben. Die Kompressionspumpe presst oben die Ammoniakdämpfe in die Spiralrohre,

während die kondensirte Ammoniakflüssigkeit am unteren Ende durch das Regulirventil in den Verdampfer übertritt.

Die Spiralen sind stets von Kühlwasser umgeben, das unten in den Apparat durch das Rohr a_1 eintritt, und oben, nachdem es erwärmt ist, denselben wieder bei a_2 verlässt.

Die Kompressionspumpe P ist gewöhnlich liegend konstruirt, als doppelwirkende Saug- und Druckpumpe, und sind alle Theile möglichst zugänglich angeordnet. Die Ventile werden durch Federn auf ihre Sitze gepresst. Der Kolben ist metallisch gelidert. Die Stopfbüchse hat die schwierige Aufgabe zu lösen, das Entweichen der Ammoniakdämpfe nach aussen zu verhindern. Nähere Beschreibung folgt weiter unten.

Das Saugrohr der Pumpe b_3 ist, wie bereits bemerkt, mit dem Verdampfer B , das Druckrohr a_3 mit dem Kondensator A in Verbindung gesetzt. Durch entsprechende Absperrventile i in der Saug- und Druckleitung kann die Pumpe nöthigenfalls vollständig von den Röhrenapparaten abgesperrt werden.

Zur Füllung der Maschine mit reinem Ammoniak wird in der Regel der billig im Handel vorkommende Salmiakgeist ebenso benutzt, wie bei den früher beschriebenen Ammoniakmaschinen, und zwar wird das Ammoniak mittels eines Destillationsapparates durch Erwärmung ausgetrieben.

Zu diesem Zwecke wird mittels einer kleinen Handspeisepumpe etwas Salmiakgeist in ein schmiedeeisernes Kesselchen geschafft. Hier erfolgt die Erwärmung durch eine im Innern des Kesselchens angebrachte Heizspirale mittels Dampf. Ist kein Dampf vorhanden, so wird direkte Feuerung benutzt.

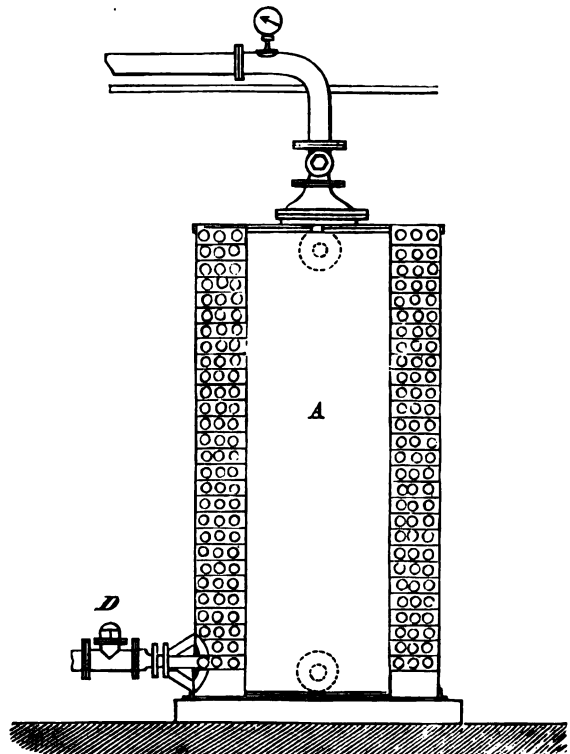


Fig. 70.

Die sich entwickelnden, stets mit etwas Wasserdampf gemischten Ammoniakdämpfe passiren zunächst einen Kühlaufsatz, in welchem circulirendes Kühlwasser die mitgerissenen Wasserdämpfe niederschlägt, während der ziemlich vollständig entwässerte Ammoniakdampf in den Verdampfer der Maschine gelangt.

Ist die Lösung genügend erschöpft, so lässt man dieselbe durch eine kleine Kühlspirale heraustreten. Diese Entleerung wird durch den im Innern des Apparats herrschenden Ueberdruck selbst bewerkstelligt.

Der Destillationsapparat wird, sobald die Füllung der Maschine beendigt ist, ausser Betrieb gesetzt und dient später nur noch zeitweise zur Ergänzung der durch Undichtheiten verloren gehenden Ammoniakmengen.

Wie schon oben bemerkt, ist flüssiges, wasserfreies Ammoniak seit einer Reihe von Jahren Handelsartikel geworden, so dass die immerhin umständliche Destillationsmethode, mit ganz seltenen Ausnahmen, nicht mehr zur Anwendung kommt, indem man das flüssige Ammoniak unmittelbar aus den eisernen Bomben in die Maschine einfüllt.

Die Maschine bildet nach dem Vorstehenden ein vollständig abgeschlossenes System, das wegen seiner Einfachheit eine grosse Betriebssicherheit verbürgt, besonders in Verbindung mit dem Umstande, dass der ganze Prozess mit mechanischen Mitteln durchgeführt ist, die leicht zu kontrolliren und zu überwachen sind.

Bei den vorstehend beschriebenen Ammoniakmaschinen ist Betriebssicherheit auch dadurch hergestellt, dass Explosionsgefahr durch den Umstand ausgeschlossen ist, dass die Ammoniakflüssigkeit, die sich in hoher Spannung befindet, in einem Kessel circulirt, der aus engen Röhren von ausserordentlicher Festigkeit besteht. Selbst wenn eine Explosion hier überhaupt denkbar wäre, so würde sie durch den Umstand auf ein sehr geringes Maass reducirt, dass in dem Kessel nur geringe Mengen Ammoniakflüssigkeit vorhanden sind. Da nur Kupfer und dessen Legirungen von Ammoniak chemisch angegriffen werden, Eisen und Stahl aber erst bei sehr hohen Temperaturen, so hat man chemische Einwirkungen des Ammoniaks bei den Ammoniakmaschinen ebenfalls nicht zu fürchten.

An vorstehende allgemeine Beschreibung der Linde-Maschinen möge sich nun die nähere Schilderung einiger Details reihen, welche von besonderer Wichtigkeit sind.

Stopfbüchse. Wie aus Fig. 71 ersichtlich, sind die beiden, aus Baumwollzöpfen bestehenden Packungstheile durch die „Laterne“ *S*, zwei eiserne, durch Stege mit einander verbundene Ringe, derart von einander getrennt, dass zwischen beiden ein Hohlraum, eine Kammer, entsteht. Diese Kammer wird durch Vermittelung des Röhrchens *r* unter

Saugdruck erhalten, so dass der vordere Packungstheil nur gegen diese Spannung abzudichten hat. Zu diesem Zwecke ist die Stopfbüchse mit einer Kammer versehen, welche mittels eines kleinen Pümpchens Fig. 73 u. 74 oder eines Oeltropfapparates beständig mit besonderem, erst bei sehr niedriger Temperatur erstarrenden „Kompressoröl“ (Mineralöl) gespeist wird.

Oelsammler. Mit der Kolbenstange wandert stets ein Theil des Schmieröls in durchaus willkommener Weise in den Kompressor, wo es wesentlich zur Abdichtung des Kolbens und der Ventile beiträgt. (Durch exakte Versuche ist nachgewiesen, dass dadurch die Leistung der Maschine eine Steigerung bis zu 5 Proc. gegenüber der mit ungeöltem Kompressor arbeitenden Maschine erfährt.) Einem weiteren Vordringen des Oeles in die Apparate der Maschine, Kondensor und Verlampfer, wird durch Einschalten des „Oelsammlers“ in die Druckleitung, und zwar in unmittelbarer Nähe des Kompressors gesteuert. Die Konstruktion dieses Gefässes erhellt aus Fig. 72. Die komprimierten Ammoniakdämpfe treten durch das Rohr *S* ein und schleudern, indem sich ihre Geschwindigkeit in Folge der Querschnittserweiterung plötzlich vermindert, die mitgerissenen, specifisch sehr viel schwereren Oeltröpfchen gegen die Wände des Gefässes, während die möglichst entölten Dämpfe den Oelsammler durch das Rohr *T* verlassen, um dem Kondensator zuzuströmen. Das unten im „Oelsammler“ zusammenlaufende Oel wird durch den durch Schnecke und Schneckenrad angetriebenen „rotirenden Hahn“ Fig. 72

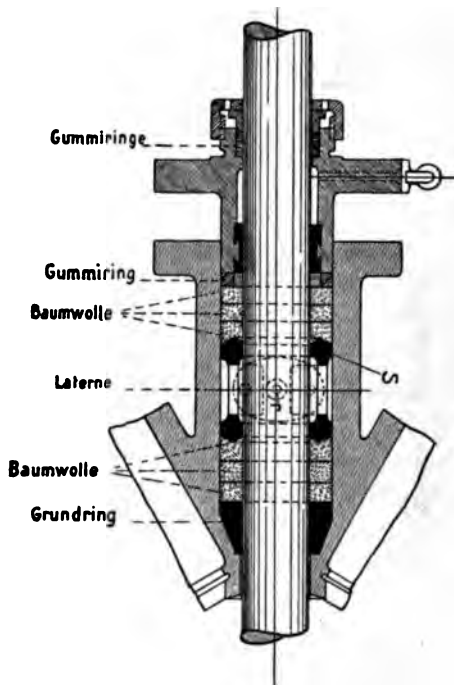
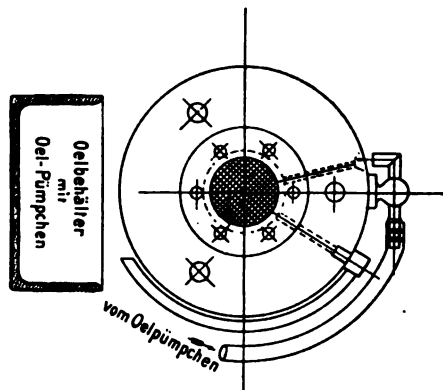
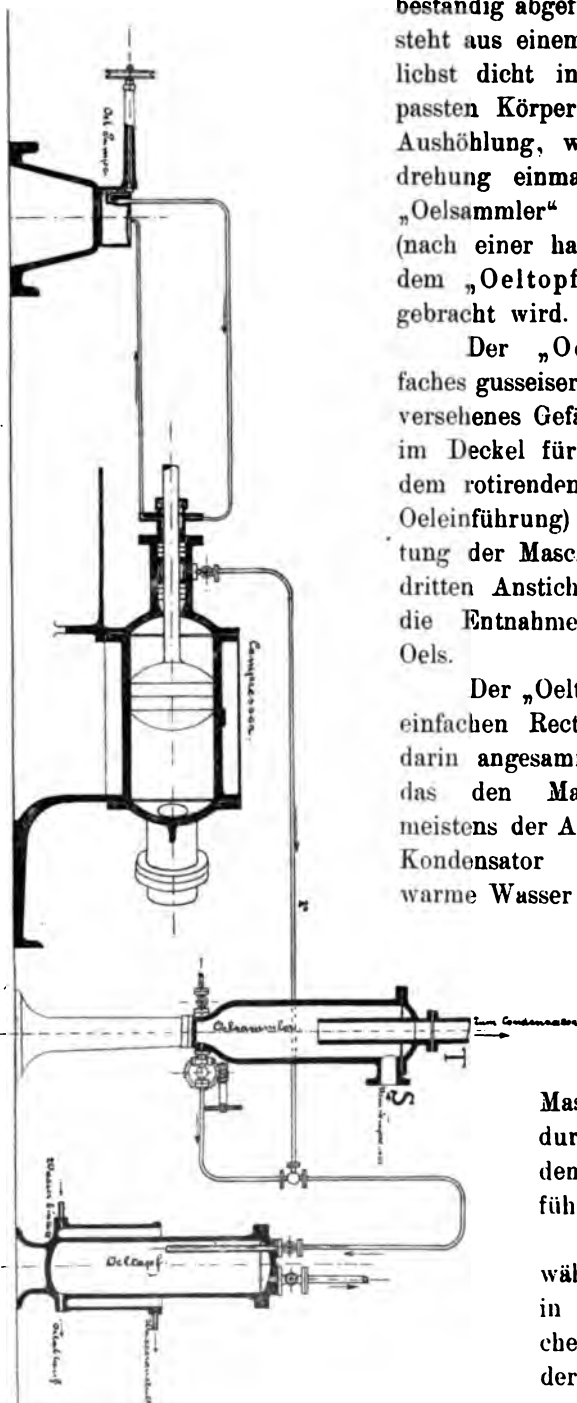


Fig. 71.

Fig. 72.



beständig abgeführt. Der letztere besteht aus einem cylindrischen, möglichst dicht in sein Gehäuse eingepassten Körper mit einer einseitigen Aushöhlung, welche bei jeder Umdrehung einmal zunächst mit dem „Oelsammler“ und das andere Mal (nach einer halben Umdrehung) mit dem „Oeltopf“ in Kommunikation gebracht wird.

Der „Oeltopf“ ist ein einfaches gusseisernes, mit Wassermantel versehenes Gefäß mit zwei Anstichen im Deckel für die Verbindung mit dem rotirenden Hahn (also für die Oeleinführung) und mit der Saugleitung der Maschine, und mit einem dritten Anstich nahe dem Boden für die Entnahme des angesammelten Oels.

Der „Oeltopf“ bildet einen sehr einfachen Rectifikationsapparat. Das darin angesammelte Oel wird durch das den Mantel durchfließende, meistens der Ablaufwasserleitung vom Kondensator entnommene, relativ warme Wasser erwärmt und dadurch von Ammoniak befreit. Die entweichenden Ammoniakdämpfe gelangen in die Saugleitung der Maschine und werden durch den Kompressor dem Kondensator zugeführt.

Es ist noch zu erwähnen, dass das oben in Rede stehende Röhrenchen *r* (von der Laterne der Stopfbüchse herkommend) an passender Stelle

an die Oelleitung zwischen rotirendem Hahn und Oeltopf angeschlossen ist. Da in diesem letzteren Saugdruck herrscht, so besteht der gleiche Druck auch in der Laterne, wie übrigens schon oben angedeutet.

Fig. 75 ist ein Linde'sches Regulierventil, die Fig. 76 bis 79 sind Linde'sche Maschinen verschiedener Grösse und für verschiedene Verhältnisse.

Ganz ohne Ammoniakverluste geht der Betrieb der Maschinen nicht ab, weil nicht alle Dichtungen vollkommen dicht sein können, und auch sowohl durch die Kolbenstange, wie durch das Oel immerhin geringe Ver-

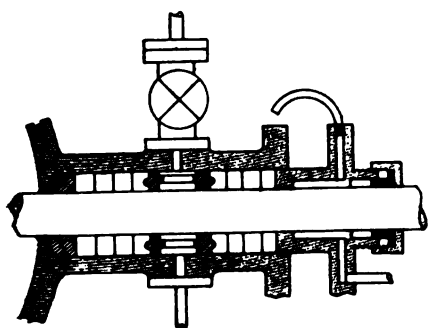


Fig. 73.

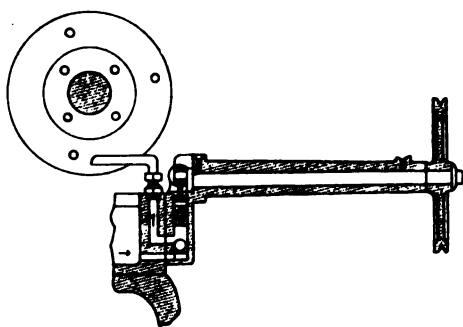


Fig. 74.

luste vorkommen. Die Linde'schen Ammoniakmaschinen sind indessen in den betreffenden Etablissements durch Jahre hindurch in unausgesetztem Gebrauche, ohne dass sich wesentliche Uebelstände zeigen. Der jährliche Ammoniakverbrauch, wie er sich als Mittel aus den verschiedenen im Betrieb befindlichen Anlagen herausstellt, ist bei Tag- und Nachtbetrieb bei Eismaschine

Nr. VI	mit 1000 kg Eisproduktion pro Stunde	275 kg Salmiakgeist	= 55 kg flüss. Ammoniak
„ V	„ 500 „	„ „ 175 „	„ = 35 „ „ „
„ IV	„ 250 „	„ „ 135 „	„ = 28 „ „ „
„ III	„ 100 „	„ „ 55 „	„ = 12 „ „ „

Da aber 1 kg flüssiges Ammoniak etwa 2,50 Mark kostet, so sind diese jährlichen Kosten unbedeutend.

Bei allen Kompressionsmaschinen, welche doppelwirkend konstruirt sind, d. h. bei welchen jede Cylinderseite abwechselnd zur Expansion und Kompression der Dämpfe dient, ist es nothwendig, den schädlichen Raum am Ende des Kolbenweges auf das Allergeringste zu beschränken, um hier nicht Verluste eintreten zu lassen, die das unvermeidliche Maass über-

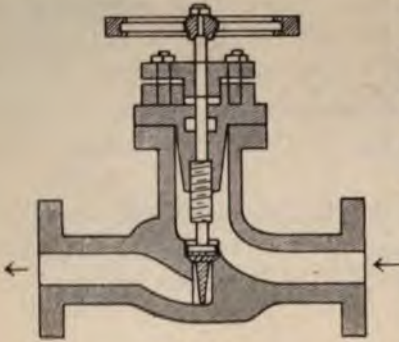


Fig. 75.

schreiten. Der Kolben muss daher bis auf höchstens einen Millimeter sich bei jedem Kolbenhube dem Cylinderdeckel nähern. Die Konstruktion der Lager und Pleuelstangen muss so exakt sein, dass Unglücksfälle nicht entstehen können. Bis jetzt sind allerdings bei Lindschen Maschinen Unglücksfälle sehr selten gewesen und auch bei den zunächst zu besprechenden Osenbrück'schen Maschinen sind solche Brüche wenig vorgekommen. Das sind jedoch Vor-

kommnisse, welche bei guter Arbeit der Maschinen nicht sollten befürchtet werden; hätte man dann doch auch bei Dampfmaschinen ähnliche Be-

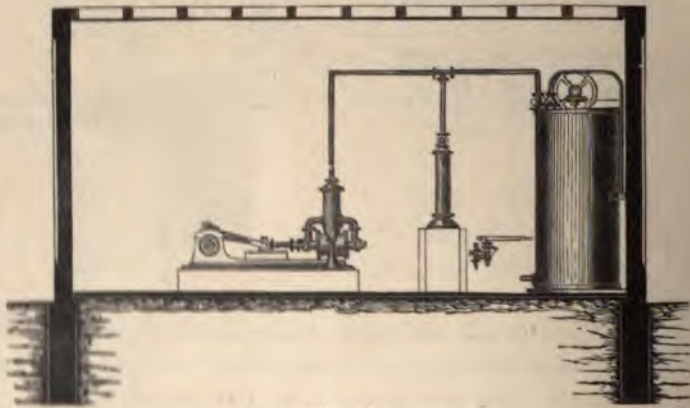


Fig. 76.

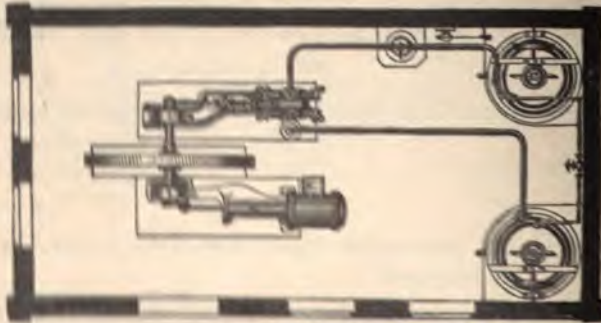


Fig. 77.

fürchtungen geltend zu machen.

Es sind oben gelegentlich die Spannungen mitgeteilt, welche auf der Expansions- und Kondensationsseite des Cylinders herrschen, die sich

der Expansionsseite je nach der Verwendung der Maschine auf $1\frac{1}{2}$
3 Atmosphären, auf der Kompressionsseite auf 8 bis 10 Atmosphären

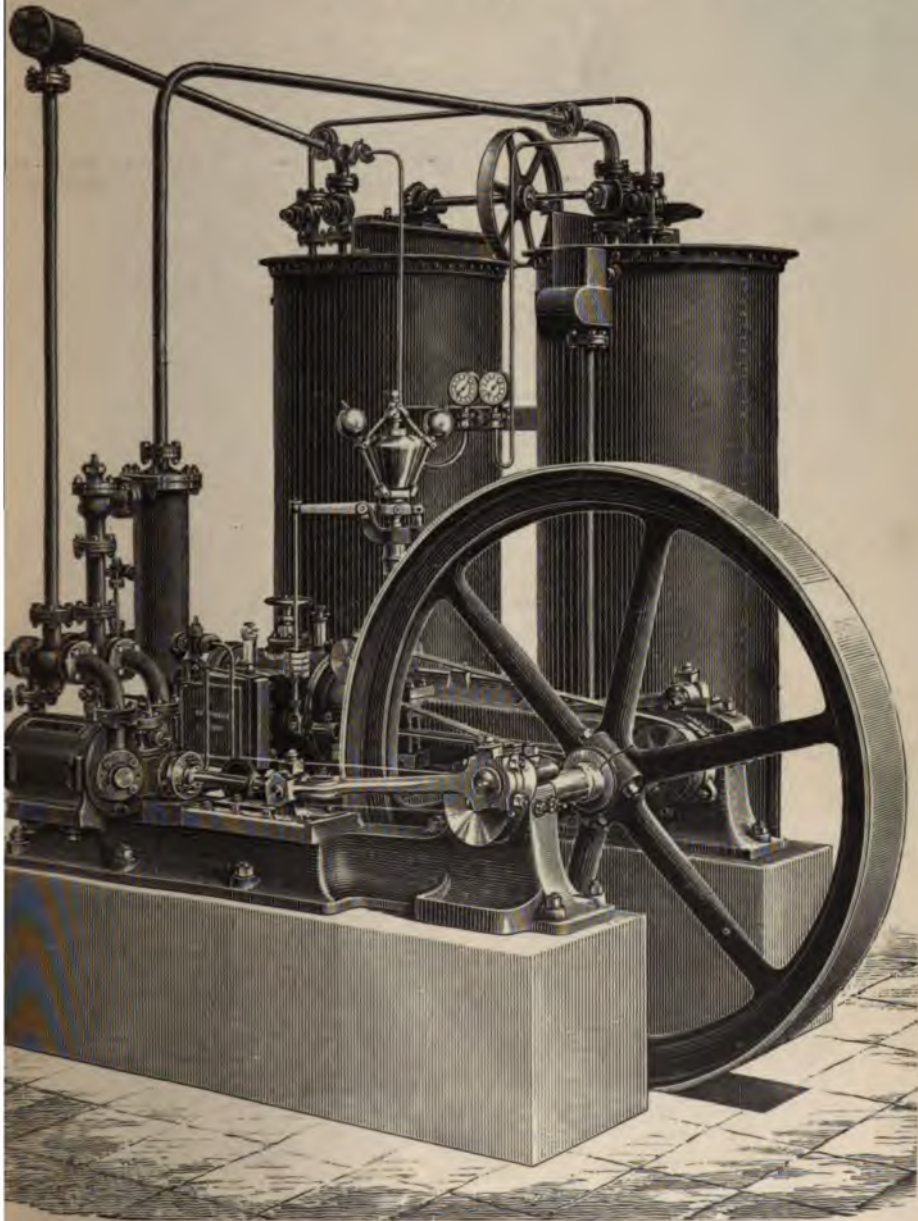


Fig. 78.

ellt. Aus der Differenz beider lässt sich unter Berücksichtigung der
Kolbenfläche und Geschwindigkeit die aufzuwendende Kraft berechnen,

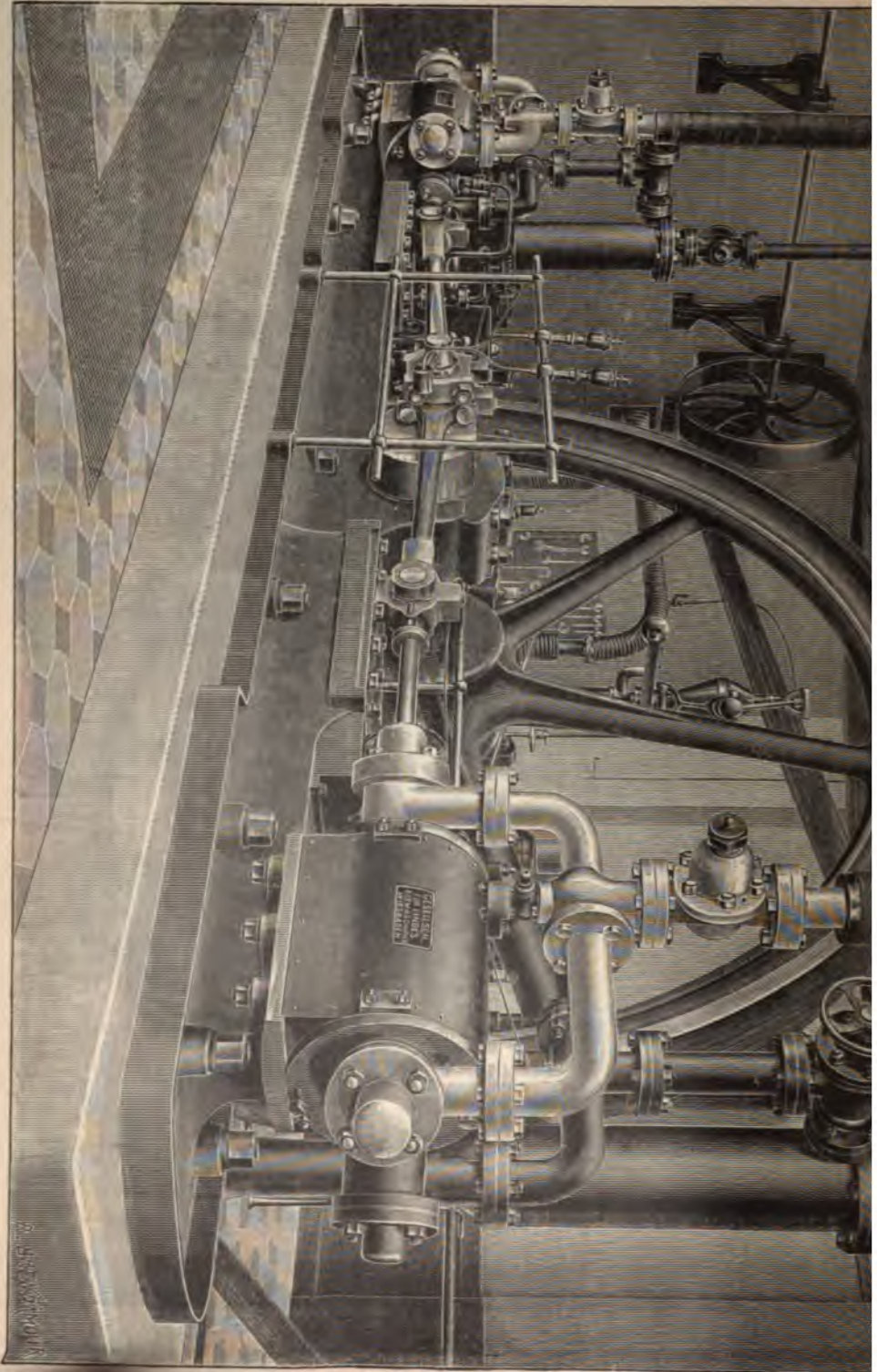


Fig. 78.

welche die Maschine zum Betriebe gebraucht, selbstverständlich unter Berücksichtigung der Verluste. Siehe auch Seite 107 f.

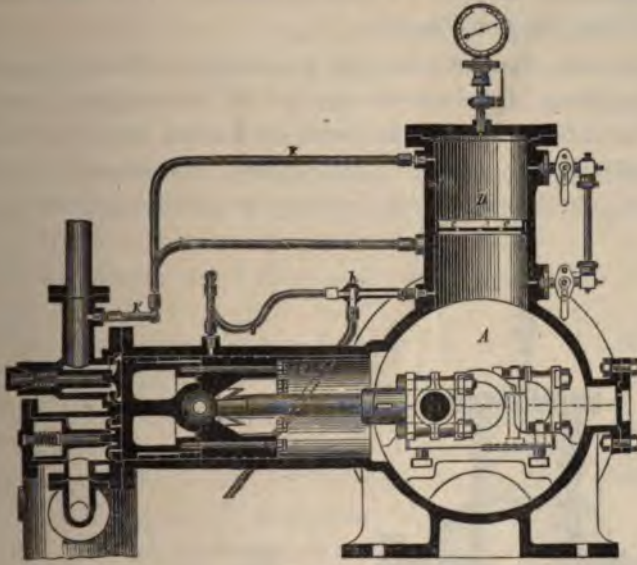


Fig. 80.

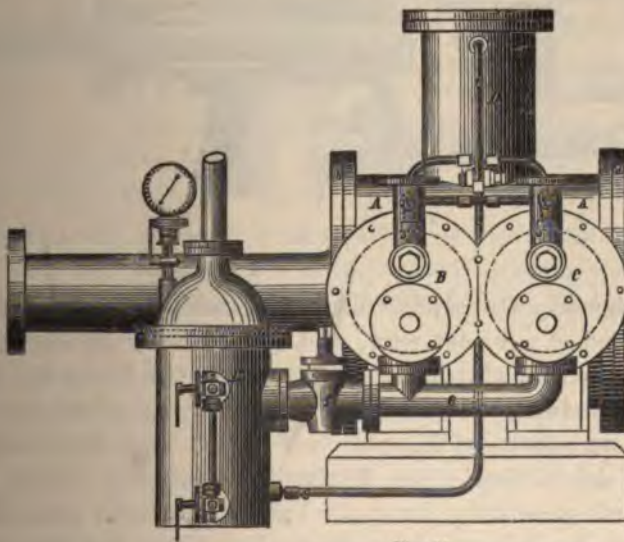


Fig. 81.

Die Dimensionen des Kompressors berechnen sich leicht nach der oben angegebenen Formel für $\frac{Fsn}{30}$, die dort entwickelt ist.

In späterer Zeit ist eine ganz nach dem Linde'schen System konstruirte Maschine, die der Firma Osenbrück & Co. in Hemelingen bei Bremen patentirt war, in Verkehr gekommen. Der Unterschied besteht nur in der Kompressionspumpe.

Der leitende Gedanke bei der Konstruktion dieser Pumpe war, alle beweglichen Theile derselben in ein Oelbad einzulagern, damit dieselben die geringste Abnutzung erleiden und die Pumpe keiner besonderen Wartung bedarf. Ferner dadurch eine leichte und sichere Abdichtung der Stopfbüchse, durch welche die Kurbelwelle geführt ist, zu erzielen, dass

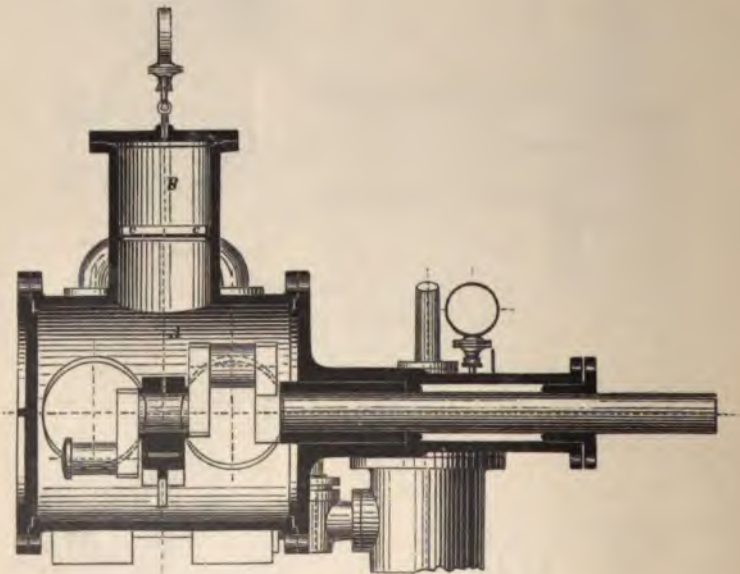


Fig. 82.

die mit geeignetem Oel gefüllte Kurbelwellenkammer unter den Minimaldruck der Pumpe gebracht wird, und endlich dafür zu sorgen, dass bei jedem Kolbenwechsel ein regulirbares Quantum Oel hinter die Kolben gespritzt wird (wodurch die schädlichen Räume beseitigt und der Nutzeffekt der Pumpe verbessert wird), und zwar derart, dass diese Oelzuführung sowohl von der Minimal- wie Maximaldruckseite der Pumpe geschehen kann, wodurch gleichzeitig durch die Pumpe selbst eine Ausgleichung der Oelniveaus in der Oelkammer der Minimaldruckseite und dem Oelreservoir der Maximaldruckseite, falls eine Verschiebung derselben stattgefunden hat, bewirkt wird. Für diesen Zweck ist ausserdem noch eine selbstthätig wirkende Vorrichtung vorhanden.

In Fig. 80 und 81 ist die Pumpe dargestellt.

A ist die Kurbelwellenkammer, welche durch die Deckel *a* und *b* öldicht geschlossen ist.

An dem Deckel *b* ist die Stopfbüchse für die Kurbelwelle befindlich. Osenbrück's Kompressionsmaschine.

B und *C* sind die beiden Pumpencylinder, *D* eine durch eine horizontale, fein durchlöchernte Platte *c* abgetheilte Kammer, welche mit der Saugleitung der Pumpe *d* und *d'* communicirt. Alle diese vier genannten Theile *ABCD* bestehen aus einem Stück.

E ist ein Oelreservoir, in welches das Druckrohr *e* der Pumpe führt. Durch den Hahn *f* kann die Pumpe gegen die Druckleitung abgesperrt werden. Oben an dem Helm des Oelreservoirs, welches unter dem Maximaldruck der Pumpe steht, setzt sich das Druckrohr fort.

Das Oelreservoir dient zur Einspritzung von Oel hinter die Pumpenkolben.

Die Saugröhren der Pumpen *d* und *d'* werden durch ein T-Rohr *v*, Fig. 83, mit einander verbunden und die Pumpe kann durch den auf diesem Stück angebrachten Hahn *w* gegen die Saugleitung abgesperrt werden. Durch den vorn angebrachten kleinen Hahn *x* wird reines flüssiges Ammoniak der Pumpe zugeführt.

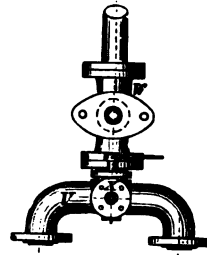


Fig. 83.

Das Rohr *g* mündet in den unteren Theil des Oelbehälters *E* und führt zu dem Dreiweghahn *h*, welcher einmal in den Oelraum der Kammer *D* und auf dem anderen Ende durch Verzweigung in die beiden Pumpencylinder *B* und *C* mündet, und zwar so, dass die Einspritzlöcher in diesen Cylindern beim Ende jeden Kolbenhubes in Saugrichtung von dem Kolben freigegeben werden, so dass also ein entsprechendes Oelquantum einspritzen kann.

Die Kolben sind so lang bemessen, dass sie sich selbst führen, sind der Quere nach auf halbe Länge getheilt, beide Hälften werden durch Schrauben mit einander verbunden und die Pleuelstangen sind in dieselben mittels Kugelgelenkes eingekapselt.

Der Vorgang in der Pumpe ist nun folgender:

Die Pumpe ist bis nahe zu der horizontalen durchbohrten Scheidung *c* in der Oelkammer *D*, welche ein Umherspritzen des Oeles beim Arbeiten der Pumpe verhindert, mit geeignetem Oel gefüllt, das Oelreservoir *E* etwa bis zur Hälfte.

Der Dreiweghahn *h* stellt die Verbindung zwischen Reservoir *E* und den Pumpencylindern *B* und *C* her. Bei Vollendung jedes saugenden Hubes geben die Kolben die Einspritzöffnung des Rohres *g* in die Pumpencylinder frei, und es spritzt ein der Hahnstellung und dem Druck entsprechendes Quantum Oel hinter die Kolben. Dasselbe gelangt direkt durch

die Druckventile der Pumpe in das Oelreservoir zurück, um denselben Kreislauf anzutreten.

Wenn Dampf oder Oel durch Undichtigkeiten der Kolben in die Kurbelkammer *A* gelangen, so steigt ersteres durch die gelochte Platte *c* in den oberen Theil der Kammer und vereint sich hier durch das Rohr *k* mit dem Dampfe der Saugleitung, während letzteres ein Steigen des Oeles in der Oelkammer *D* bewirkt. Wird das Oelniveau auf diese Weise zu hoch und hat sich dementsprechend in dem Oelreservoir *E* gesenkt, so wird der Dreiweghahn so gestellt, dass die Einspritzung von Oel hinter die Pumpenkolben von *D* aus geschieht. Dasselbe gelangt dann durch die Druckventile in das Oelreservoir zurück, wodurch dessen Niveau steigt, während das der Oelkammer sinkt.

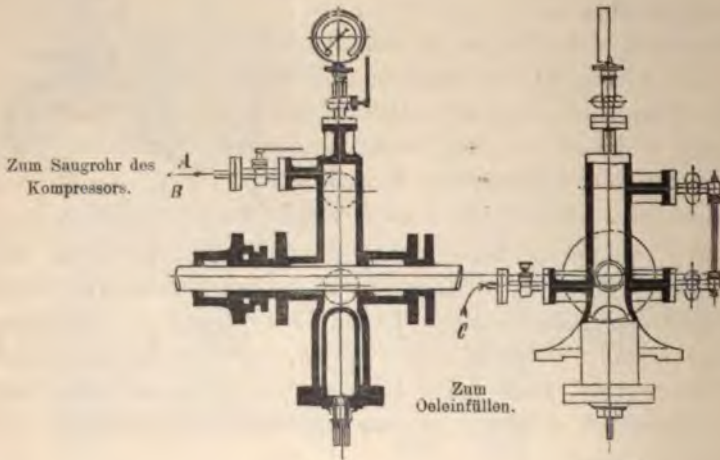


Fig. 84.

Fig. 85.

Der Dreiweghahn wird wieder mit dem Oelreservoir in Verbindung gebracht, sobald in diesem das richtige Niveau erreicht ist.

Um eine derartige Beaufsichtigung der Pumpe ganz überflüssig zu machen, kann auch eine freie Rohrverbindung *i* mit der Saugrohrleitung der Pumpe verbunden werden, wobei die Einmündung des Rohres *i* in die Oelkammer höher als die Ausmündung derselben in die Saugleitung anzuordnen ist. In diesem Falle fließt alles durch Undichtigkeiten der Kolben in die Kurbelkammer *A* gelangende Oel direkt in die Saugleitung, gelangt durch die Saugventile hinter die Pumpenkolben und wird durch die Druckventile in das Oelreservoir zurückgebracht. Der Dreiweghahn *g* wird in diesem Fall durch einen gewöhnlichen Hahn ersetzt, weil die Injektion von Oel hinter die Kolben dann stetig von dem Oelreservoir *E* aus erfolgt. Die Rohrverbindung *k* ist dann unnöthig. Die Pumpe er-

ert demnach gar keine Beaufsichtigung und erhält die Oelniveaus in Oelkammer und den Oelreservoirs selbst konstant.

Etwa durch die Wellenstopfbüchse nach aussen verschleichendes Oel durch eine an der Oelkammer *D* anzubringende Oelvase mit doppelten Ventilen wieder zugeführt.

Auch Osenbrück ist jetzt in der Konstruktion der Kompressoren gefolgt und wendet die ihm patentirte Stopfbüchse an, welche in 84 und 85 abgebildet ist. Dieselbe ist in der mittleren Kammer mit einem nach oben und unten sich erstreckenden Cylinder versehen, welcher durch einen gegenüberliegenden Stutzen die hindurchgehende Kolbenstange gegen die äussere Luft abdichtet. Der Cylinder ist bis über die Seitenwände mit Mineralöl angefüllt; dagegen ist der untere Theil doppelwandig, durch mittels Dampf das Oel erhitzt wird, um es in eine Temperatur zu bringen, bei welcher es die Ammoniakdämpfe nicht mehr absorbiert. Die Dämpfe steigen in Folge dessen durch das Oel hindurch und treten durch einen Hahn in das Saugrohr des Kompressors. Das hierbei mitgerissene Oel setzt sich in einem kleinen Sammelgefäss zwischen Kondensator und Oeldampfer ab und wird dann in die Oelkammer der Stopfbüchse zurückgeführt, nachdem das Ammoniak in einem kleinen Destillationsgefäss abgetrennt ist.

Später noch hat Osenbrück nach starker Abkühlung des Mineralöles das durch die gewöhnliche Stopfbüchse entweichende Ammoniakgas dasselbe hineingeführt. Je kälter eine Flüssigkeit ist, desto absorptionsfähiger ist sie für Gase und Dämpfe, so dass man nach starker Abkühlung des Oeles die Absorption in einem offenen Gefässe vornehmen kann. Der absorbierte Ammoniakdampf wird dann durch Erwärmen ausgetrieben. Der Oelbehälter ist durch eine Zwischenwand in zwei Theile getheilt, von denen der untere durch Scheidewände dem Ammoniakdampf einen Zickzackweg durch das Oel aufnöthigt, während im oberen Theil durch einen Schwimmhahn ein konstantes Niveau des Oeles erhalten wird. Die Abkühlung des Oeles erfolgt durch eine Kühlschlange, welche im Oelbehälter gebracht ist.

Diese beiden Anordnungen sind um deswillen interessant, weil die eine auf der Absorptionsunfähigkeit heisser Flüssigkeiten beruht, die andere auf der starken Fähigkeit kalter Flüssigkeiten zur Absorption.

Die Osenbrück'schen Maschinen werden auch von der Maschinenfabrik Esslingen in Esslingen gebaut und ähnliche Kompressionsmaschinen von der Maschinenfabrik Germania in Chemnitz.

Neuerdings hat die Firma Osenbrück & Co. eine Stopfbüchse in der Absicht konstruirt, zu verhindern, dass die Sperrflüssigkeit nicht durch den Cylinder u. s. w. in die Verdampferöhren tritt. Der Stopf-

büchsenapparat Fig. 86 besteht aus einer vor dem Kompressor angeordneten Pumpe, deren Kolben auf der Kolbenstange des Kompressors befestigt ist. Bei Vorschub des Pumpenkolbens folgen ihm die aus dem Kompressor von der Kolbenstange mitgerissenen Dämpfe, und bei Rückgang desselben werden sie durch ein Ventil, welches an dem dem Kompressor zugekehrten Ende der Pumpe angebracht ist, in die Saugleitung

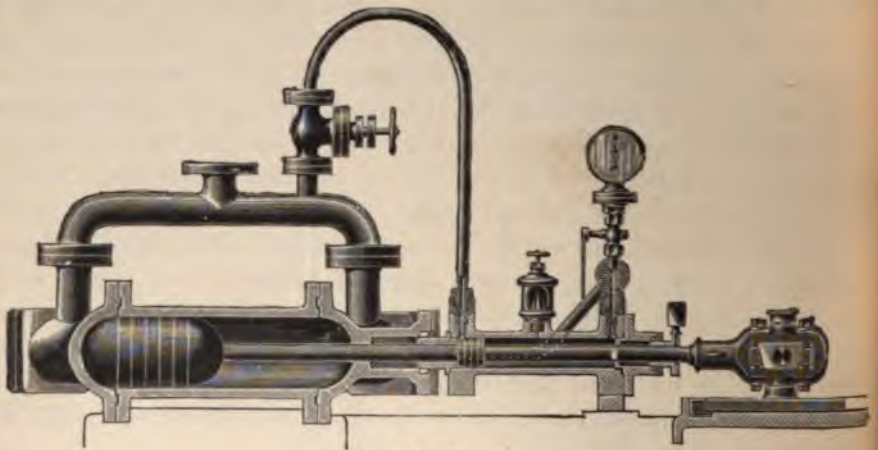


Fig. 86.

des Kompressors übergeführt, während die etwa durch den Pumpenkolben tretenden Dämpfe durch ein vorn an der Pumpe befindliches Ventil nach dem hinteren Ende derselben gedrückt werden. Obwohl hier die Stopfbüchse durch die andere an der Pumpe ersetzt wird, so ist hier freilich die Spannung geringer. Der Apparat soll sich zur Zeit an 40 Anlagen bewährt haben.

Diverse
Stopf-
büchsen.

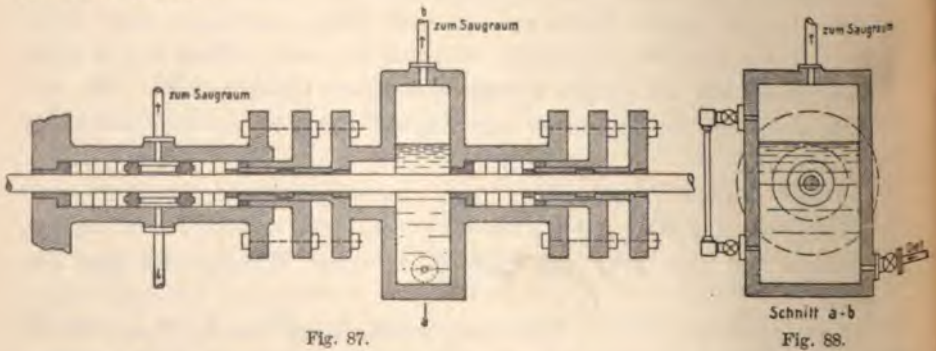


Fig. 87.

Schnitt a-b
Fig. 88.

In Fig. 87 und 88 sieht man die Ausführung der Stopfbüchsen der Maschinenfabrik Germania in Chemnitz, welche ebenfalls mit Oelkammern versehen sind. Erklärung ist nicht nöthig, weil sie von selbst sich erklärt.

Die Fig. 89 und 90 zeigen die Stopfbüchse von Fixary, dessen Maschinen in Deutschland von der Maschinenbauanstalt Humboldt in Kalk bei Köln gebaut werden. Auch diese Stopfbüchse ist leicht aus der Zeichnung zu verstehen. Bei *c* und *d* wird das Oel eingeführt, wäh-

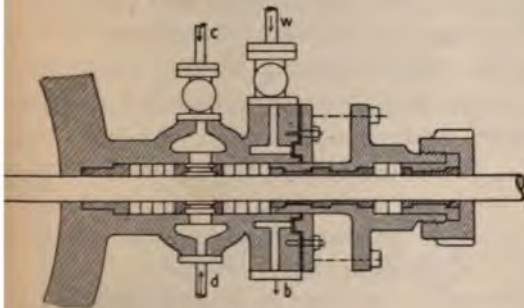


Fig. 89.

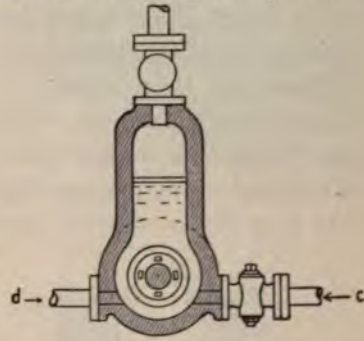


Fig. 90.

rend in der vorderen Abtheilung durch *a* Ammoniak zugeleitet wird, das in dem Ringraume verdampfen und das Oel zum Gefrieren bringen soll, um sicherer abzudichten. Die Stopfbüchsen werden übrigens mit befriedigendem Erfolg meistens, ohne die Gefriereinrichtung zu benutzen, angewendet.

Die Friese'sche Packung besteht aus zwei Spiralen in der in Fig. 91 gezeichneten Weise. Sie hat sich sehr eingeführt, obwohl nicht zu erkennen ist, dass durch die spiralförmig sich windenden kleinen Oeffnungen an der Kolbenstange und dem Innenraume der Stopfbüchse die Ammoniak - Dämpfe sich nach vorne un-

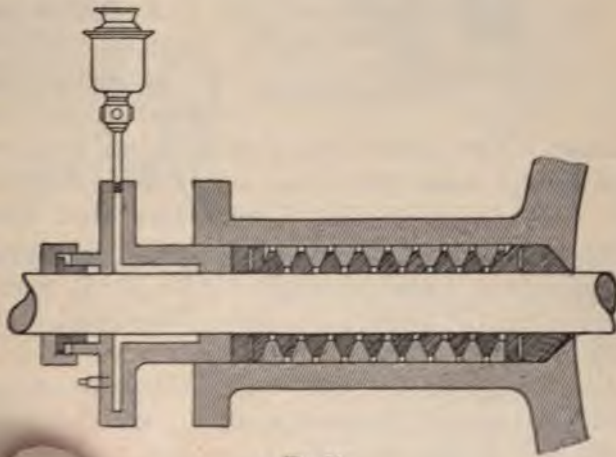


Fig. 91.

geben. Absolute Abdichtung gewähren sie nicht angenommen, dass sich in

Works in Nordamerika ist in dass die äussere Mutter ein

Schneckenrad darstellt, das mittels einer Schnecke mit Handrad fest angezogen werden kann. Die Vortheile und Nachtheile dieser Einrichtung sind ohne Weiteres klar zu erkennen. Im Innern der Büchse sind Metallringe angewendet.

Von A. Neubecker in Offenbach wurde eine Kompressionsmaschine gebaut, welche gleichfalls mit Ammoniak arbeitet, und welche nach dem Patente von Hugo Nehrlich in Berlin mit einer Stopfbüchse arbeitete, in welcher nicht eine Flüssigkeit zur Abdichtung Verwendung findet, sondern welche trocken arbeitet. Bei diesem Systeme werden ferner zwei Kompressionspumpen angelegt, welche nach Bedarf ausgeschaltet werden, um ganz sicher arbeiten zu können, endlich sind der Kondensator und

der Verdampfer als Gegenstromapparate konstruirt, um den Aufwand an Kühlwasser soviel wie möglich einzuschränken.

Die Fig. 93 giebt eine schematische Darstellung der Maschine. In derselben findet keine Ueberdestillation aus Salmiakgeist statt, vielmehr wird flüssiges Ammoniak in einen Sammeltopf *a* eingebracht, wo es sich bei *1* befindet, und von wo es durch das Rohr *2* und den Hahn *3* in den Verdampfer *B* hinübergelassen wird. Durch das Rohr *4* gehen die Dämpfe in den Kom-

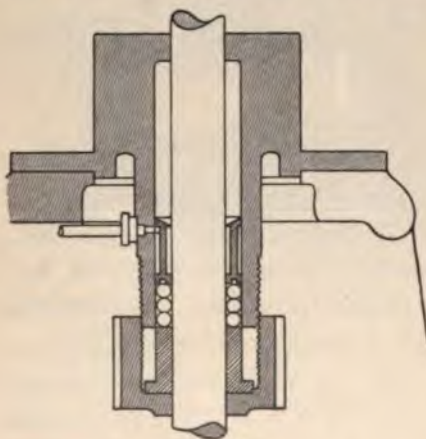


Fig. 92.

pressor *C* und ferner durch Rohr *5* in den Kondensator *D*, von welchem das flüssige Ammoniak wieder in den Sammeltopf *a* gelangt.

Kondensator und Verdampfer sind nach dem Princip der Gegenströmung eingerichtet. Sind die in den Kondensator eintretenden komprimirten Ammoniakdämpfe 35° bis 40° C. warm, während das Kühlwasser mit 15° eintritt, so ist der Unterschied doch immer noch erheblich genug, um durch Gegenströmung einen Nutzen erlangen zu können. Ohne Gegenströmung dürfte die Abkühlung des flüssigen Ammoniaks sich auf eine mittlere Temperatur stellen, während bei Gegenströmung sich wohl eine geringe Temperatur erreichen lässt. Um so viel besser muss natürlich der Kälteerfolg im Verdampfer werden, der auch dort durch die Gegenströmung um etwas erhöht werden kann. Von Nachtheil ist dagegen bei den Neubecker'schen Kondensatoren und Verdampfern, dass sie Verschraubungen besitzen, wie in Verdampfer *B*, welche leicht undicht werden. Sobald sie aber geschweisst sind, wie in Kondensator *D*, so ist für die Dichtigkeit der kurzen Biegungen wohl kaum immer einzustehen.

Ein gutes Gegenstromsystem bei in grossem Bogen geschweissten Röhren, wie die Linde'schen Apparate, würde, wenn eingeführt, wie ich meine, sicherer sein.

Bei Neubecker bestanden beide Apparate aus einem rechtwinkligen Neubecker's
Maschine. Kasten, der durch keilförmige Zwischenböden 6 in einzelne Kanäle getrennt ist, die über einander liegen und den äusseren Flüssigkeiten einen langgestreckten Zickzackweg von unten nach oben anweisen. Die Flüssigkeiten strömen bei 7 ein und bei 8 wieder aus. Es liegen solche Schlangen in solcher Anzahl neben einander, als für die Maschine und ihre Zwecke nöthig ist. Endlich sind, um die Oberfläche der Kühlrohre

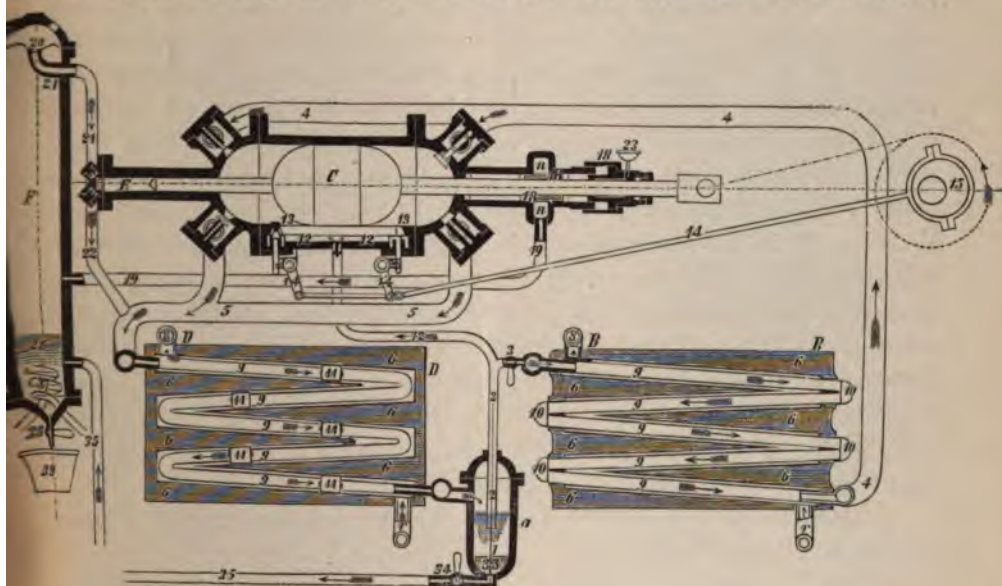


Fig. 98.

rein zu erhalten, noch Bürsten angebracht, welche, durch einen geeigneten Mechanismus hin und her gezogen, die Röhren stets rein erhalten sollen, damit die Wärmemittheilung durch die Oberfläche ungehindert vor sich gehen kann.

Auch in dieser Maschine wird, wie bei Linde, um die Ueberhitzung der Dämpfe im Kompressor zu vermeiden, flüssiges Ammoniak eingeführt, und zwar aus dem Sammeltopf *a*, von welchem ein Röhrchen 2 und 12 mit den Einspritzventilchen 13 in den Kompressor führt. Die Ventile sind derart gesteuert, dass sie durch ein Hebewerk 14 und Excenter 15 während der Kompressionsperiode geöffnet bleiben. Das flüssige Ammoniak steht im Sammeltopfe unter dem höchsten Kompressionsdrucke und spritzt daher so lange in den Kompressor ein, bis in ihm derselbe Druck entstanden ist.

Die Stopfbüchse ist aus der Figur zu erkennen. Dieselbe wird nicht durch eine Sperrflüssigkeit abgedichtet, sondern ihre Kammer n ist mit Ammoniakdämpfen erfüllt, welche durch das Rohr 19 aus dem Ausgleichgefäss F eintreten. Ein in die Stopfbüchse eingeschalteter Ring 18 sorgt dafür, dass die Kammer n nicht durch Packung verschlossen werden kann. Eine Hilfspumpe E , welche durch die nach hinten verlängerte Kolbenstange des Kompressors gebildet wird, saugt unter Vermittelung des Ausgleichventils 20 und der Rohrverbindung 21 die Dämpfe aus dem Ausgleichgefäss F und drückt sie durch das Rohr 22 wieder in die Maschine. Durch das Ventil 20 wird im Ausgleichgefäss F und in der mit ihm verbundenen Stopfbüchsenkammer n gleiche Spannung gehalten, nämlich die der äusseren Atmosphäre. Die Wirkung ist folgende: Die Pumpe E ist so gross, dass sie mit Sicherheit die eintretenden Ammoniakdämpfe aus dem Gefässe F absaugt; sobald jedoch die Spannung in demselben unter die Atmosphäre sinken will, schliesst sich das Ventil selbstthätig, weil durch eine Oeffnung im Deckel des Gefässes F die Stahlplatte des Ventils dem Atmosphärendruck unterworfen ist. Auf diese Weise wird in der Kammer n der Stopfbüchse das Ammoniak stets gewöhnliche Atmosphärenspannung besitzen und daher keine Veranlassung sein, durch die Packung nach aussen zu entweichen, so wenig wie Luft von aussen eintreten wird. In Folge der Diffusion der Gase wird jedoch trotzdem eine geringe Vermischung mit Luft eintreten, wenn die äussere Stopfbüchse 16 nicht vollkommen dicht hält, was selten in der Praxis der Fall ist. Um dies zu verhindern, ist durch die Schmiervase 23 diese äussere Stopfbüchse stets in Oel gehalten.

An Stelle der Pumpe E wenden die Patentinhaber auch eine separate Pumpe oder einen Ejektor an.

Das aus dem Kompressor C kommende, zur Schmierung desselben verwendet gewesene Oel sammelt sich, nachdem es den Kondensator passirt hat, mit dem flüssigen Ammoniak im Sammeltopfe a , wo es vermöge seines grösseren specifischen Gewichts sich unten ansammelt. Das Rohr 2, welches das flüssige Ammoniak aus dem Topfe abführt, reicht deshalb nicht bis auf diese Oelschicht, welche durch Oeffnen des Hahnes 34 und Rohr 35 in das Ausgleichgefäss F übergeführt werden kann. Hier, wo Atmosphärenspannung herrscht, entbindet sich von selbst der grösste Theil des absorbirten Ammoniaks, der Rest wird durch die Heizschlange 37 entfernt durch Destillation, und das reine Oel wird dann durch den Hahn 38 in das Gefäss 39 abgelassen.

Es ist schon früher erwähnt worden, dass die Firma Siebe, Gorman & Co. in London seit einiger Zeit übergegangen ist zu dem Bau von Ammoniak-Kompressionsmaschinen nach dem System des Ingenieur T. B. Lightfoot in London, nachdem sie eine längere Reihe von Jahren

mit grosser Energie Aethermaschinen gebaut hatte. Die Ueberlegenheit des Ammoniaks wird jetzt eben auch in England anerkannt. Die Konstruktion der Maschinen ist ähnlich wie die in Fig. 2 abgebildeten Aethermaschinen, vertikal und doppelwirkend, im Ganzen entsprechend den in Deutschland üblichen Systemen.

T. B. Lightfoot selbst baut aber jetzt die Linde'schen Maschinen unter der Firma The Linde British Refrigeration Co. in London.

In Deutschland werden Ammoniak-Kompressionsmaschinen noch von verschiedenen anderen Fabriken gebaut, so von der Maschinenbau-

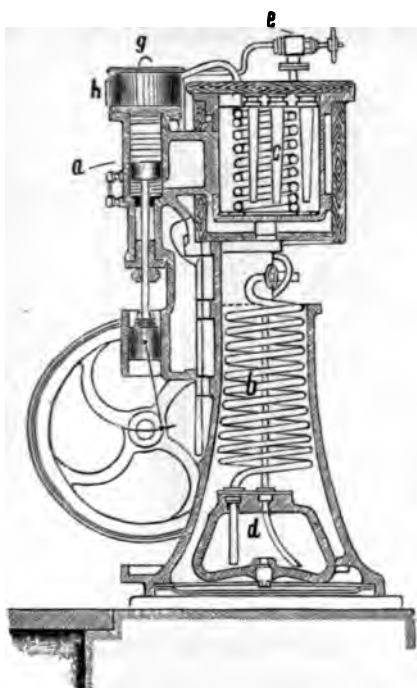


Fig. 94.

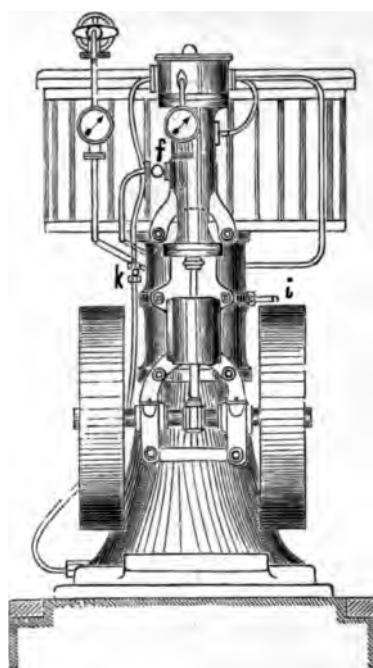


Fig. 95.

anstalt Humboldt in Kalk bei Köln, auf deren Kühlanlagen ich noch zurückkommen werde. Die grösseren Maschinen bieten nichts besonders Eigenartiges, die kleinen transportablen aber sind in den Fig. 94 und 95 abgebildet. *a* ist der Ammoniakkompressor, *b* der Kondensator, *c* der Eisgenerator, *d* der Ammoniak- und Oelsammler, *e* das Regulirventil für das Ammoniak, *f* das Regulirventil für Oel, *g* ein Gleichgewichtsventil, *h* das Kühlwasserbassin, *i* der Kühlwasserabfluss, *k* der Kühlwasser-Regulirhahn. Diese Maschinen werden für 5 und 10 kg stündlicher Eisproduktion hergestellt.

Die Nordhäuser Maschinenfabrik Schmidt, Kranz & Co. hat den Bau von Absorptionsmaschinen aufgegeben und baut nur noch Ammoniak-

Trans-
portable
Kom-
pressions-
maschinen

Kompressionsmaschinen mit einem doppelten Oelabscheider, um das vom Ammoniakdampf mitgerissene Oel abzusondern.

Nürnberg
Kom-
pressions-
maschinen.

Die Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg A.-G. baut Ammoniak-Kompressionsmaschinen System Linde.

Das Werk Nürnberg obiger Gesellschaft vormals Maschinenbau-Actiengesellschaft Nürnberg verwendete früher bei den Anlagen ihres Systems einige Apparate, welche bemerkenswerth sind und eine sehr kompendiöse Anordnung der Oelseide- und Rectificireinrichtungen ermöglichen.

Letztere beide sind dabei in einem Gefäss untergebracht, das drei

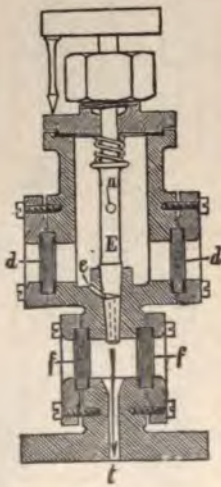


Fig. 96.

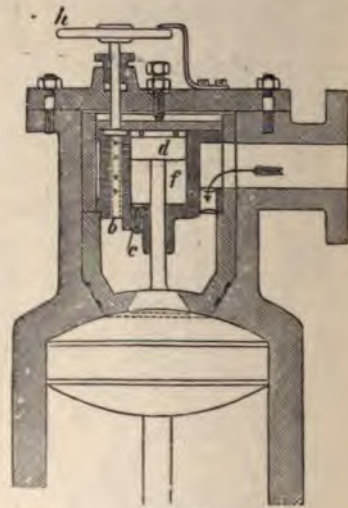


Fig. 97.

von einander getrennte Räume enthält. Der obere Theil ist in die Druckleitung eingebaut und bildet den Oelseider; in dem mittleren Raume findet die Rectifikation des Ammoniaks statt; dieser steht einerseits durch den nachfolgend beschriebenen Oelablassapparat mit dem Oelseider und andererseits mit der Saugleitung in Verbindung. Unter dem Oelrectifikator befindet sich eine Anwärmevorrichtung, welche mit dem Ueberlaufwasser des Kondensators in Verbindung steht.

Fig. 96 giebt eine Abbildung der Oelablass- und Schauvorrichtung.

Das Oel sammelt sich am Boden des Oelseiders, tritt dann durch Oeffnen eines Hahnes in den Schauapparat und kann von hier aus in genau regelbarer Menge dem Oelrectifikator zugeführt werden. Das nach unten laufende Oel ist durch die Glasfenster *ff* sichtbar. Eine kleine Pumpe mit hohlem Kolben bewirkt den Oeltransport zurück in die Stopfbüchse.

Die Maschinen von L. Seyboth in München, welche gute Resultate ergeben, sind mit einer Filtrirvorrichtung für das durch die Kompressorstopfbüchse circulirende Schmieröl versehen und zeichnen sich sonst durch eine besondere Ventilkonstruktion mit veränderlicher elastischer Hubbegrenzung aus. An der Ventilstange ist am hinteren Ende ein Kolben *d* Fig. 97 angebracht, der sich im Cylinder *f* bewegt. Durch das Handrad *h* und die Spindel *b* können Dämpfe über und unter den Kolben gelassen werden und bilden dann ein Luftkissen für das Ventil. Zum selbstthätigen Nachfüllen dienen die kleinen Saugventile *c*. Die Verdampferrohre, auch zum Zwecke der direkten Verwendung in Kühlräumen, umgibt Seyboth mit einem weiteren Rohr, das auch zur Vergrößerung der Kühlfläche mit

Seyboth's
Kom-
pressions-
maschine.

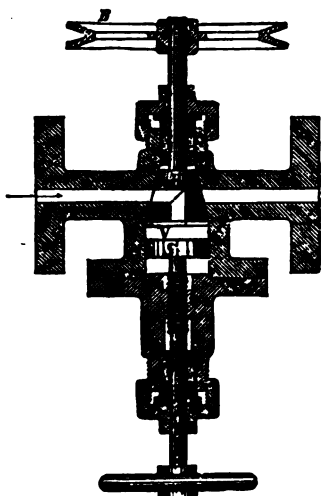


Fig. 96.

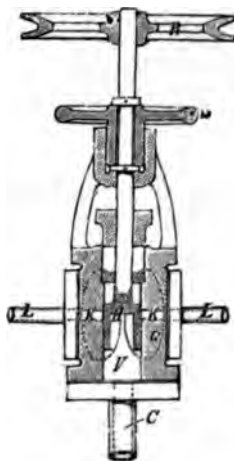


Fig. 99.

Scheiben besetzt ist, ähnlich wie die der De la Vergne Compagnie in New-York. Der Zwischenraum zwischen beiden Rohrsystemen ist mit einer Flüssigkeit angefüllt, welche den Kältetransport vermittelt, etwa Oel und Alkohol, und welche die in Folge etwaiger Undichtigkeit der Rohrverbindungen entweichenden Dämpfe aufnimmt, so dass sie nicht in die Kühlräume austreten können.

An den Linde'schen Kaltdampfmaschinen sind seit einer Reihe von Jahren eine Anzahl von Verbesserungen gemacht worden:

Eine Regulirungsvorrichtung zur Ueberleitung des flüchtigen Ammoniaks aus dem Kondensator in den Verdampfer, und zwar derart, dass die Ueberleitung nicht fortwährend, sondern in regelmässigen, von der Umdrehungszahl der Maschine abhängigen Intervallen, stattfindet, besteht darin, dass der Hahn *H* in Fig. 98 durch die Rolle *R* von der Kältemaschine angetrieben wird. Derselbe stellt mittels seiner Durchbohrung

abwechselnd die Verbindung zum Kondensator und Verdampfer her. Der durch den Kolben *S* regulirbare Raum *V* füllt sich bei jeder Hahndrehung mit der unter Kondensatordruck stehenden Flüssigkeit; bei der anderen Hahnstellung findet ein Uebertreten der Flüssigkeit aus *V* in den Verdampfer statt. Eine andere Form zeigt Fig. 99, bei welcher der Hahn *H* am Umfang einen keilförmigen Schlitz besitzt, welcher bei Drehung des Hahnes abwechselnd die einzelnen Kanäle *K* und damit die anschliessenden, zu den einzelnen Verdampferspiralen führenden Leitungen *L* mit dem Raum *V* in Verbindung setzt. Zwecks Veränderung des Durchflussquerschnittes des Hahnes *H* ist er vermittelst des Handrades *S* in achsialer Richtung verschiebbar.

Ebenso werden jetzt von der Gesellschaft Linde wie auch von

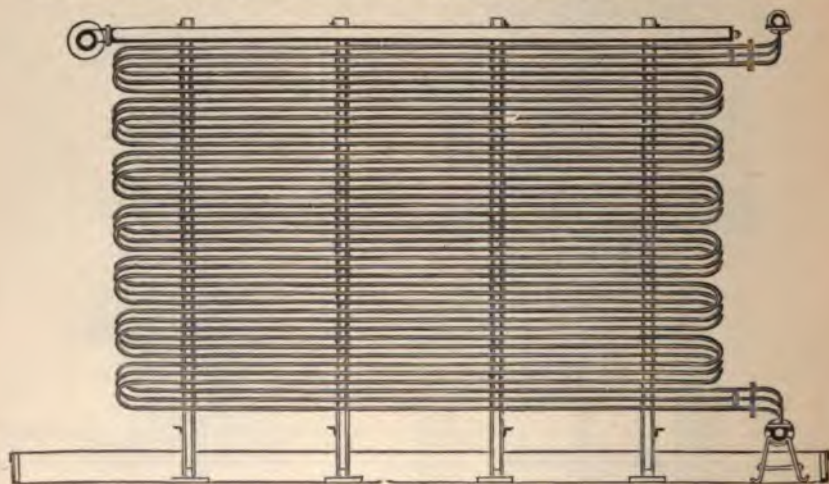


Fig. 100.

anderen Fabriken Berieselungskondensatoren und Berieselungsverdampfer angewandt, die den sonst normalen Wasserverbrauch der Kältemaschinen auf $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$ ohne erhebliche Erhöhung des Arbeitsaufwandes verringern.

Beispielsweise würde also eine Kältemaschine Nr. VI, die normal, d. h. bei einer 10 grad. Erwärmung des Kühlwassers 16 bis 18 cbm stündlich gebraucht, mit einem Linde'schen Berieselungskondensator nur etwa 2 cbm stündlich bedürfen. Diese Apparate sind demnach überall da, wo die Kühlwasserbeschaffung mit nennenswerthen Kosten oder Schwierigkeiten verknüpft wäre, von höchster Wichtigkeit.

Die Anordnung des Linde'schen Berieselungskondensators ist aus Fig. 100 ersichtlich. Die Spiralen sind reihenweise in parallelen Vertikal-ebenen und in solchen Abständen angelegt, dass man jederzeit bequem zwischen die einzelnen Systeme gelangen, sie besichtigen, event. anstreichen

u. s. w. kann. Ueber jedem Vertikalsystem liegt eine Kühlwasser-Vertheilungsrinne, welche in ihrer ganzen Länge das Wasser gleichmässig austreten und auf die oberste Spiralwindung laufen lässt. Von dieser gelangt das Wasser auf die nächst tiefer liegende Windung u. s. w., wodurch also die ganze Spiraloberfläche berieselt, d. h. mit einer dünnen Wasserschicht überzogen wird. Sämmtliche Spiralen stehen in einem Blechbehälter von geringer Tiefe, in welchen das abtropfende Wasser aufgefangen wird, um mittels einer, auf der Fig. 101 fortgelassenen, Pumpe wieder in die Vertheilungsrinnen gehoben zu werden. Der ganze Apparat wird möglichst frei, an einem dem Luftzug ausgesetzten Orte aufgestellt. Das in den Spiralen sich kondensirende Ammoniak giebt seine Wärme an das herabrieselnde Kühlwasser ab, dieses aber unmittelbar wieder, und zwar sowohl durch Leitung als hauptsächlich durch Verdunstung, an die Luft. Das Wasser bleibt sonach ständig benutzbar, so dass lediglich Verluste und Verdunstungsmenge zu ersetzen sind.

Dass der Arbeitsverbrauch der mit solchen Berieselungskondensatoren ausgerüsteten Kältemaschinen durchschnittlich nicht höher sein wird, als derjenige an Maschinen mit gewöhnlicher Kondensatorkonstruktion und acht- bis zehnmal so grossem Wasserverbrauch, geht aus folgender Betrachtung hervor.

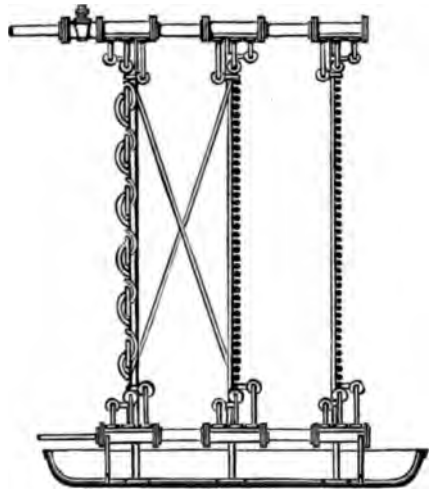


Fig. 101.

Bei den gewöhnlichen Kondensatoren hat man bei „normaler“ Kühlwassermenge bei uns, d. h. bei gemässigtem Klima, meist mit einer Ablauftemperatur des Kühlwassers von 22° bis 25° C. zu rechnen. Nun ist aber der den Arbeitsverbrauch bestimmende Kondensatordruck gerade von dieser Ablauftemperatur abhängig. Gelingt es also, bei einem Berieselungskondensator die Wasserschicht auf den Spiralen auf 22° bis 25° C. zu erhalten, so arbeitet derselbe ebenso günstig, wie der normale Kondensator.

Dass dies bei genügender Grösse der Oberfläche sehr leicht möglich ist, muss aber ohne Weiteres zugegeben werden, weil bei unseren klimatischen Verhältnissen die durchschnittliche Lufttemperatur, selbst wenn nur ein Kühlmaschinenbetrieb in den sechs bis acht wärmeren Monaten angenommen wird, wesentlich unter jener Temperatur liegt.

Die leichte Zugänglichkeit der Spiralen, durch welche sich dieser Apparat vortheilhaft vor der gewöhnlichen Kondensatorkonstruktion auszeichnet, bei der die Spiralen in einem Gefässe liegen, wurde schon hervorgehoben.

Berieselungsverdampfer.

Die Berieselungsverdampfer sind Luftkühlapparate, bei denen die Verdampferspiralen durch die kalte Salzlösung berieselt werden, während die abzukühlende Luft an den berieselten Flächen entlang geführt wird.

Diese Apparate sind in ganz ähnlicher Weise wie die Berieselungskondensatoren Fig. 100 konstruirt, nur mit dem Unterschiede, dass der ganze Apparat in einen Blechkasten eingehüllt wird, den man zur Vermeidung von Kälteverlusten gut isolirt. Der Vorgang ist natürlich hier, wo die Luft wärmer ist als die Salzlösung, umgekehrt als bei den Kondensatoren. Bei letzteren findet eine Verdunstung, also Anfeuchtung der Luft und Kühlung des Wassers statt, bei den Berieselungskühlern dagegen ein Abkühlen der Luft, Niederschlag ihrer Feuchtigkeit an den kalten Flächen und Wärmezuführung zur Salzsoole.

Der grosse Vorzug dieser Berieselungsverdampfer besteht in der grösstmöglichen Unmittelbarkeit der Kälteübertragung vom verdampfenden Medium an die Luft unter Beibehaltung der Vorzüge, welche die Berührung zwischen Luft und Salzlösung bietet. Der Gedanke, die Spiralen in der gedachten Weise aber ohne jedes Salzwasser zur Luftkühlung zu verwenden, führt auf bekannte Einrichtungen, wie sie sonst auch vielfach ausgeführt werden. Ihnen ist aber allen der Nachtheil gemein, dass sich die Rohre sehr rasch mit einer Schneekruste überziehen und an Wirksamkeit verlieren.

Dieser Schneeüberzug bildet aber einen ganz ausserordentlich schlechten Wärmeleiter, während die in Bewegung befindliche, die Flächen berieselnde Salzlösung ausserordentlich zweckmässig für die Kälteübertragung ist.

Linde's
Apparat für
destillirtes
Wasser.

Zur Herstellung von Klareis wird destillirtes Wasser mit Vorliebe benutzt, das gleichzeitig den grossen Vortheil bietet, keimfrei und daher völlig gesundes Eis zu liefern. Das Destillationsverfahren der Gesellschaft Linde hat den Vortheil geringen Kohlenverbrauchs. Ich folge einer Darstellung von R. Diesel in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1893 S. 13, welcher sagt:

Kesseldampf durch Kühlwasser zu kondensiren, wäre unvortheilhaft, da dann schon hieraus auf je 6 bis 7 kg Eis ein Aufwand von 1 kg Kohle fiel. Wird aber die Kältemaschine durch eine Dampfmaschine betrieben, so bieten sich zur billigeren Herstellung destillirten Wassers verschiedene Gelegenheiten. Am nächsten liegt es, den Abdampf niederzuschlagen, und zwar, um auf den Vortheil einer Kondensationsmaschine nicht Verzicht

leisten zu müssen, in einem Oberflächenkondensator unter Vacuum. Derartige Einrichtungen wurden wiederholt ausgeführt. Die Reinigung des Abdampfes oder des Kondensates von mitgeführtem Cylinderschmieröl ist hierbei nothwendig.

Da einerseits bei einer ausschliesslich zum Betrieb der Eismaschine dienenden Dampfmaschine nicht soviel Kondensat gewonnen wird, als Eis

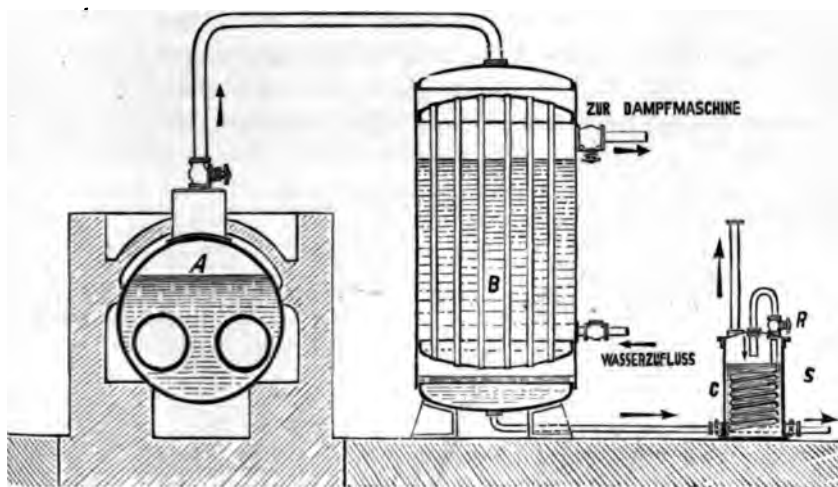


Fig. 102.

hergestellt werden kann, und da andererseits häufig die Nothwendigkeit der Erzeugung ganz reinen Eises vorliegt, hat die Gesellschaft Linde noch einen anderen Weg eingeschlagen. Sie schaltet nämlich nach D. R.-P. Nr. 43 426 und wie aus der schematischen Zeichnung Fig. 102 ersichtlich, zwischen Dampfessel A und Dampfmaschine einen zweiten Dampfessel — einen Röhrenkessel B ein, heizt den ersten Kessel unmittelbar wie gewöhnlich, den zweiten aber mittels des Dampfes des ersten. Es lässt sich hierbei bequem mit Dampf von 7 Atm. solcher von 6 Atm. erzeugen. Der Dampf von niedrigerer Spannung dient zum Betriebe der Dampfmaschine, der Dampf höherer Spannung kondensirt sich. Das Kondensat strömt zum Aufkochgefäss C, und in dieses frei aus, nachdem es zuvor eine Heizspirale S und das Regulirventil R passirt hat. Die hohe Temperatur des Kondensates bei seinem Eintritt in die Heizspirale ermöglicht es, den Inhalt des Gefässes, dessen Temperatur nur 100° beträgt, aufzukochen, bietet also volle Sicherheit dafür, dass alle atmo-

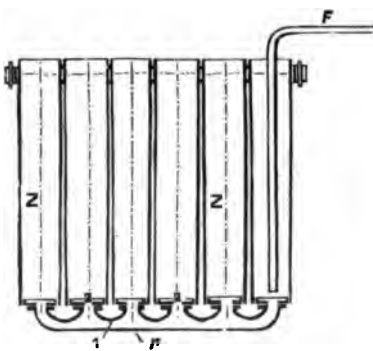


Fig. 103.

sphärische Luft aus dem destillirten Wasser ausgetrieben wird, welches nun nach vorhergehender Abkühlung zum Einfüllen in die Zellen bereit steht.

Der Abdampf aus dem Aufkochgefäss und das aufgekochte destillirte Wasser können zweckmässig zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers benutzt werden.

Eine beachtenswerthe Einzelheit ist die in Fig. 103 dargestellte Einrichtung, welche thunlichst verhindern soll, dass beim Einfüllen des destillirten Wassers in die Zellen wieder Luft aufgenommen wird. Nicht jede Zelle wird für sich gefüllt, sondern eine ganze Reihe Z gemeinsam, indem die Zellen jeder Reihe unten durch ein Rohr r verbunden sind.

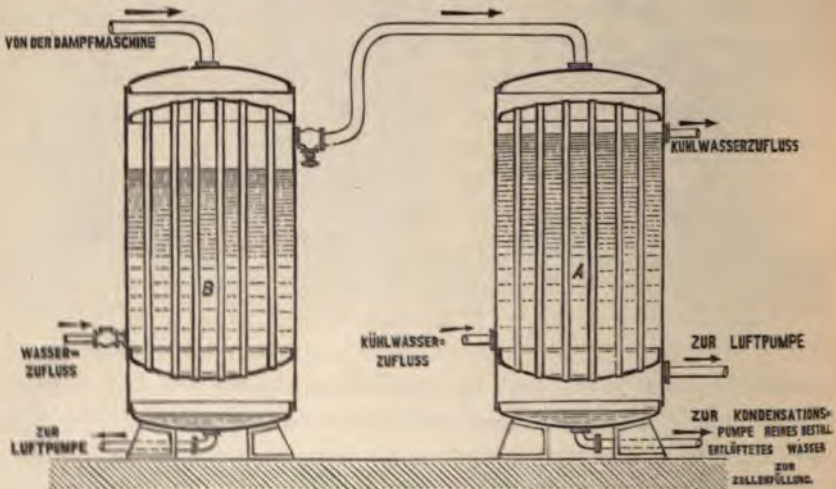


Fig. 104.

Das Füllrohr F wird nur in eine Zelle eingesetzt, das Wasser steigt gleichmässig und gleichzeitig in allen Zellen in die Höhe, eine die Luftaufnahme befördernde Bewegung findet nicht statt. Um zu vermeiden, dass das Rohr r auffriert, ist ihm ungleicher Querschnitt gegeben, der zwischen zwei Zellen, bei 1 am kleinsten, an der Mündung bei 2 am grössten ist.

Maassgebend für die vorstehend beschriebene und mehrfach ausgeführte Vereinigung war der Gedanke, vollständig reines und krystallbelles Eis herstellen zu können, ohne dabei erheblich mehr Kohlen zu verbrauchen. Dass dabei ein wirtschaftlich günstiger Betrieb erreicht ist, findet seinen Grund darin, dass sowohl die latente, bei der Kondensation des Dampfes frei werdende Wärme zur Erzeugung des Betriebsmaschinendampfes, wie auch die Flüssigkeitswärme des destillirten W zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers nutzbar sind.

Das gleiche Princip liegt einem zweiten Verfahren — D. R.-P. 63368 — zu Grunde, wobei der Röhrenkessel *B* nicht zwischen Dampfmaschine und Dampfessel, sondern zwischen Dampfmaschine und Oberflächenkondensator *A* eingeschaltet wird; dabei kondensirt sich — gl. Fig. 104 — in dem Apparat *B* der Abdampf der Dampfmaschine und giebt seine Wärme zur Verdampfung von frischem Wasser bei etwas höherer Spannung und Temperatur ab, während in dem Oberflächenkondensator *A* der erzeugte Dampf durch Kühlwasser kondensirt wird und zur Klareiszerzeugung dienende Destillat ergibt. Der einzige Unterschied in der Wirkungsweise dieser und der vorher besprochenen Einrichtung besteht in der Verschiedenheit der Drucke und Temperaturen, unter welchen sich die Kondensations- und Verdampfungsvorgänge abspielen. In einem Falle gehen sie bei den üblichen Kesselspannungen,

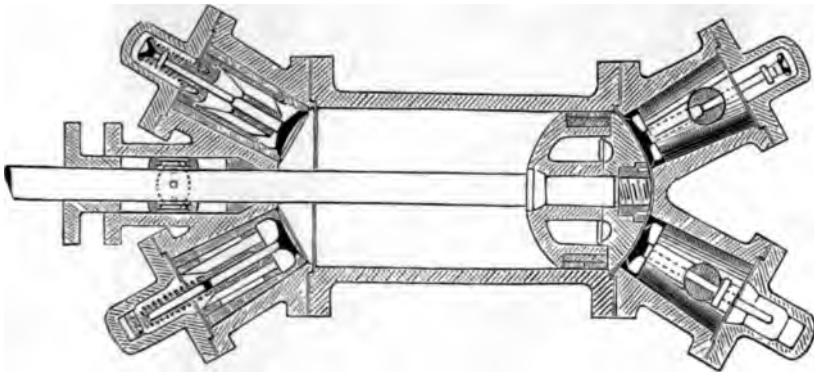


Fig. 106.

anderen im Vacuum bei Temperaturen von 40 bis 60° C. vor sich. Diese niedrige Temperatur bildet einen Vorzug des abgeänderten Verfahrens, indem Vorkehrungen zur Ausnutzung oder Beseitigung der Flüssigkeitswärme nicht erforderlich sind.

Es steht natürlich nichts im Wege, auch das im Apparat *A* sich bildende Kondensat getrennt von der Luft mittels besonderer Pumpe abzuführen und ebenfalls als Gefrierwasser zu benutzen.

Endlich sind noch die Linde'schen Verbund-Kaltdampfmaschinen zu erwähnen. Es ist aus dem Vorhergehenden als bekannt vorauszusetzen, dass mit der Temperatur des Kühlwassers die Temperatur im Kondensator, und daher auch die Spannung steigt. Die Differenz der Spannungen zwischen Kondensator und Verdampfer steigt, und es wird daher die Compressorfüllung auf ein so viel kleineres Volumen von der höheren Spannung zusammengedrückt werden müssen. Ausserdem werden die schädlichen Räume einen so viel schädlicheren Einfluss üben, weil sie

Linde's
Kom-
pressor.

mit Dämpfen von so viel höherer Spannung erfüllt sind. Es ist daher der Ausweg gewählt worden, die Stopfbüchsen- und Ventilsseite des Kompressors stets nur mit dem Dampfe von Verdampferspannung zu füllen, und die Kompression auf dieser Kolbenseite nur bis zu einer Mittelspannung sich voll-

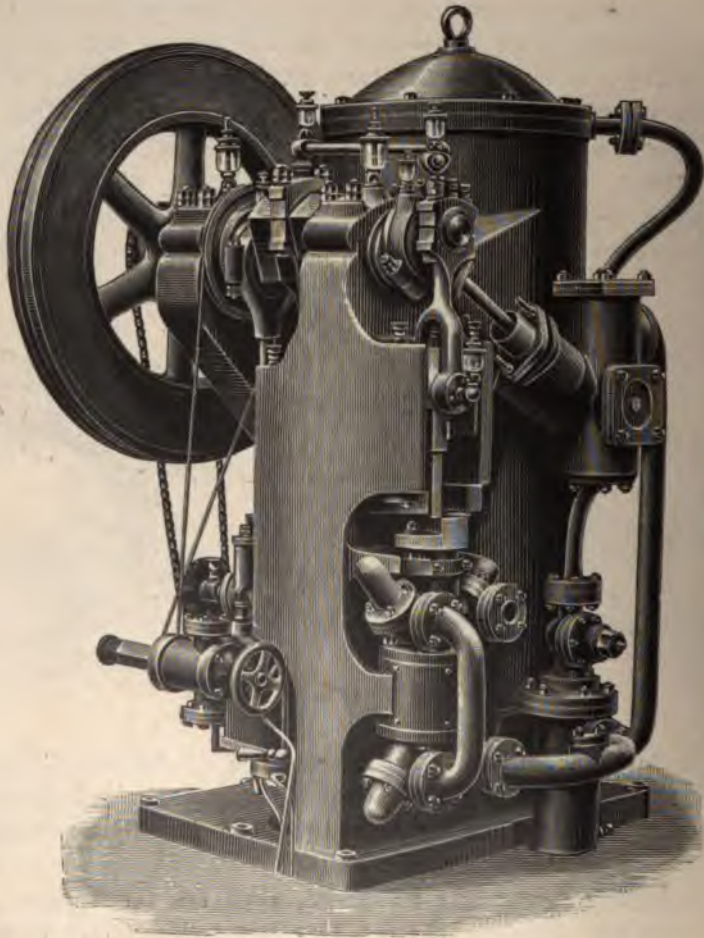


Fig. 106.

ziehen zu lassen. Alsdann werden die Dämpfe auf die andere Kolbenseite hinüber gelassen und dort weiter bis auf Kondensatorspannung komprimirt. Die Fig. 105 zeigt den Durchschnitt eines Linde'schen Kompressors, aus welchem die Anordnung verständlich wird. In die Rohrleitungen zur Verbindung beider Cylinderseiten ist ein Zwischenkühler eingeschaltet, der die Vorkühlung des komprimirten Ammoniaks benutzt und mit dessen Hülfe es möglich ist, verschiedene Temperaturen mit derselben Maschine zu erzeugen. Da die Wirkung der Compoundanord-

nung bei grosser Differenz der Spannungen zwischen Kondensator und Verdampfer hervortritt, einerlei, ob die Grenztemperatur hoch oder tief liegt, so eignet sich die Konstruktion auch zur Hervorbringung sehr niedriger Temperaturen, wie solche (-50° C.) z. B. bei Konservierung norwegischer Fische verlangt werden.

Linde's
Schiffskühl-
maschinen.

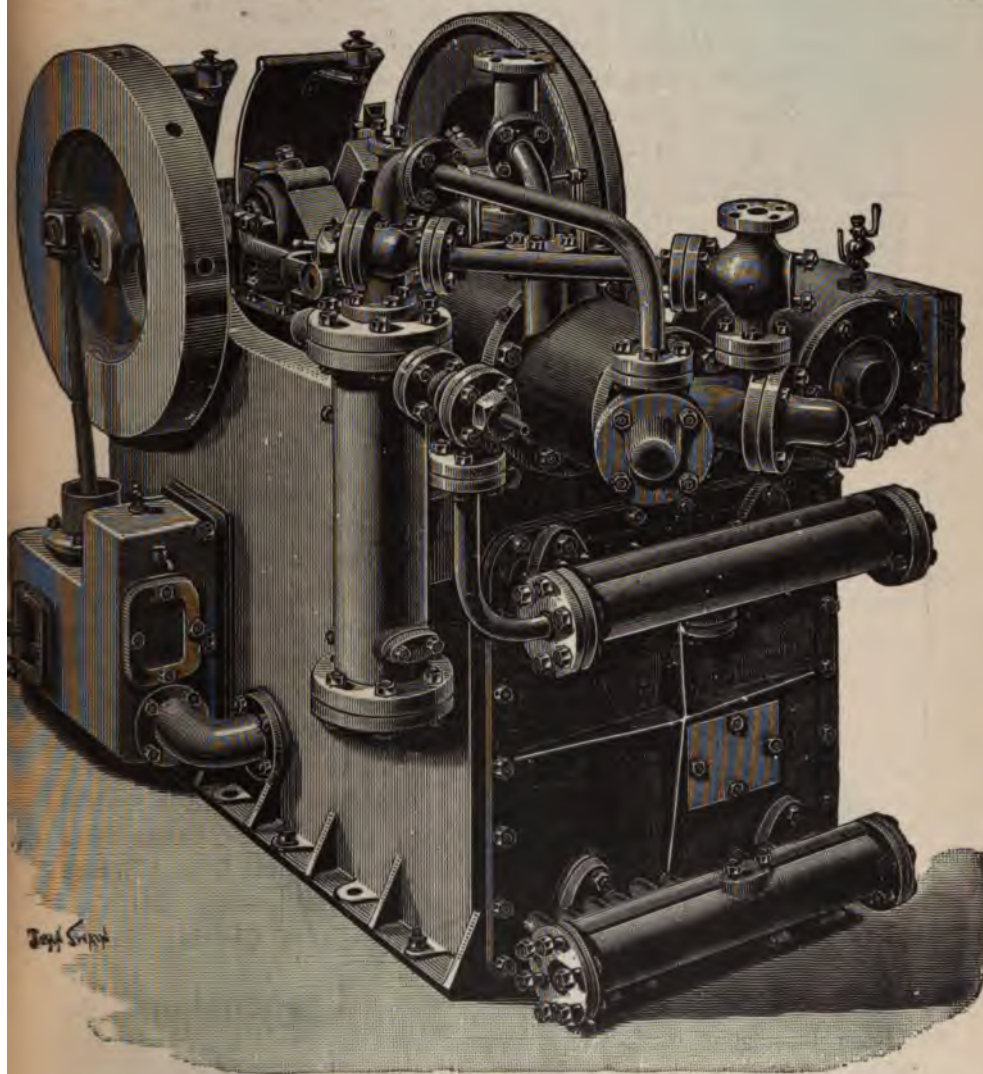


Fig. 107.

Diese Einrichtung wird auch nöthig in den Tropen, wo man mit sehr warmem Kühlwasser arbeiten muss, und auf Schiffen an Kältemaschinen, die zur Abkühlung des Proviantes oder zum Transport überseeischen Fleisches benutzt werden. Die kompensiösen Anordnungen

dieser Linde'schen Schiffskühlmaschinen sind interessant genug, um hier besprochen zu werden. Fig. 106 zeigt die Anordnung kleiner Maschinen und Fig. 107 diejenige grosser.

Im Allgemeinen besteht jede dieser Schiffskühlmaschinen-Anlagen, abgesehen von dem Dampfkessel, nur aus zwei separaten Theilen, nämlich dem Eisgenerator oder Refrigerator und aus der Dampfmaschine, Ammoniakkompressor, Kondensator und Kühlwasserpumpe, welche sämmtlich auf und in einem gemeinsamen starken gusseisernen Maschinengestell montirt sind, wie aus den Figuren ersichtlich. Die kleinen Maschinen

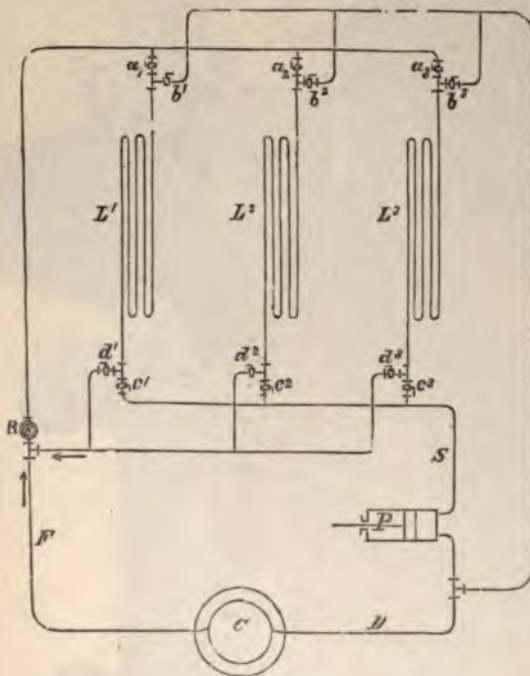


Fig. 108.

besitzen vertikale, die grossen horizontale Dampfmaschinen und Kompressoren. Die Kompression geschieht mit Rücksicht auf die warmen Kühlwassertemperaturen der Tropen, wie schon erwähnt, mittels des Compoundverfahrens, wobei ein besonderer Verdampfer zur Vorkühlung des Gefrierwassers und des flüssigen Ammoniaks angebracht ist. Die Kondensatorspiralen sind im Innern der Maschinen derart angeordnet, dass dieselben leicht ausziehbar sind, und so oft als erforderlich leicht gereinigt werden können, wodurch auch minder reines Wasser Verwendung finden kann. Bei den kleinen

Maschinen wird die Ammoniakregulirung automatisch bewirkt. Die Konstruktion der Maschinen ermöglicht die Versendung im Ganzen, was für überseeische Plätze häufig sehr wichtig ist.

Zum Abthauen der Luftkühlrohre, welche zugleich Verdampfer der flüchtigen Flüssigkeit sind, wie z. B. in Schlachtkühlhallen, und die sich mit Schnee beschlagen, wendet die Gesellschaft Linde eine Anordnung an, bei welcher die Systeme zeitweilig als Kondensatoren der flüchtigen Flüssigkeit benutzt werden. Die Fig. 108 veranschaulicht die Einrichtung schematisch. P ist der Kompressor, C der Kondensator, $L_1 L_2 L_3$ sind die Luftkühlapparate, also zugleich die Verdampfer. Durch die Druckleitung D gelangen die komprimierten Dämpfe in den Kondensator C , die Flüssigkeit

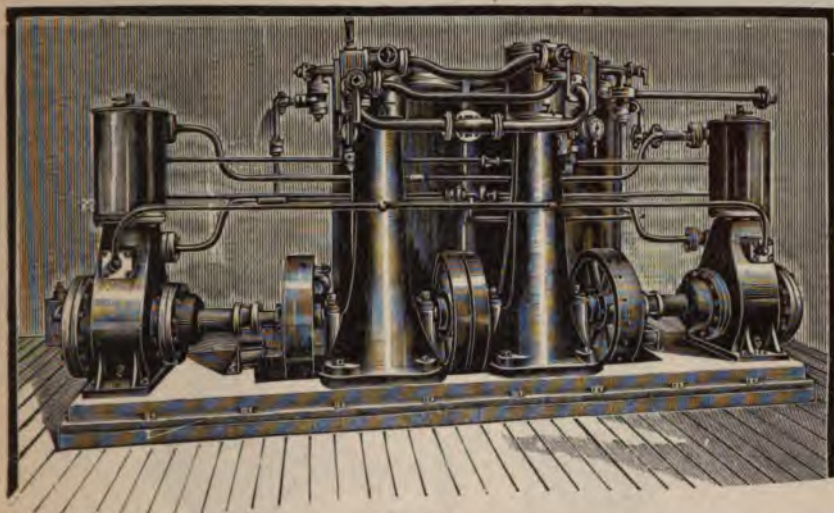


Fig. 109.

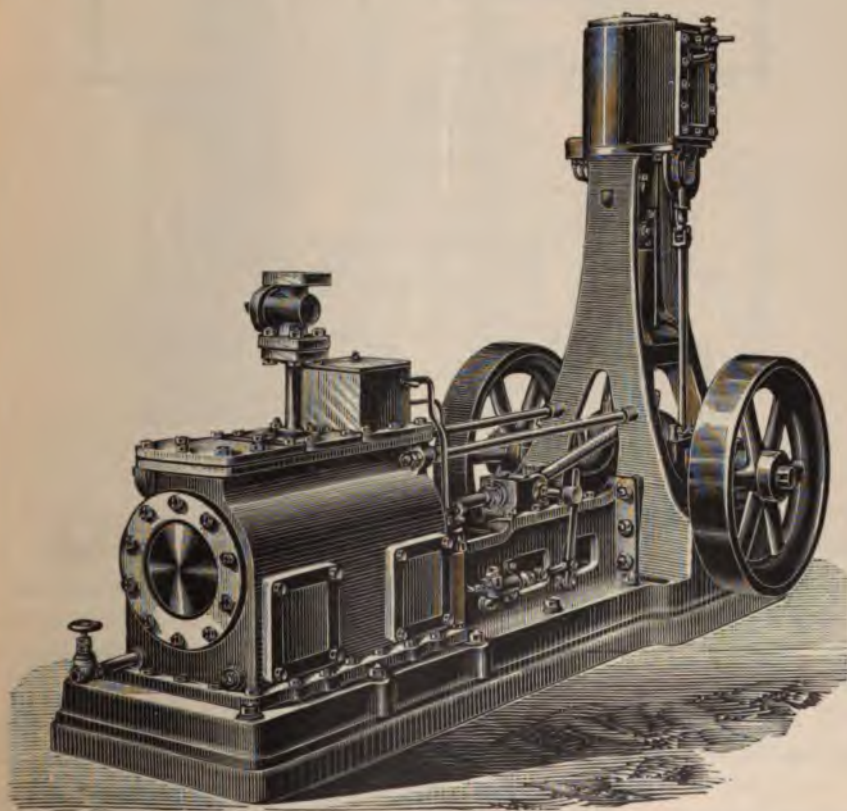


Fig. 110.

strömt durch die Leitung F und das Regulirventil R bei geöffneten Hähnen $a_1 a_2 a_3$ und geschlossenen Hähnen $b_1 b_2 b_3$ in die Luftkühlapparate $L_1 L_2 L_3$ verdampft dort, während die Dämpfe durch die Leitung S bei geöffneten Hähnen $c_1 c_2 c_3$ und geschlossenen Hähnen $d_1 d_2 d_3$ von dem Kompressor angesaugt werden. Soll nun z. B. das System L_2 abgethaut werden, so werden die Hähne a_2 und c_2 zu schliessen, b_2 und d_2 zu öffnen sein, eine durch einen einzigen Handgriff auszuführende Manipulation.

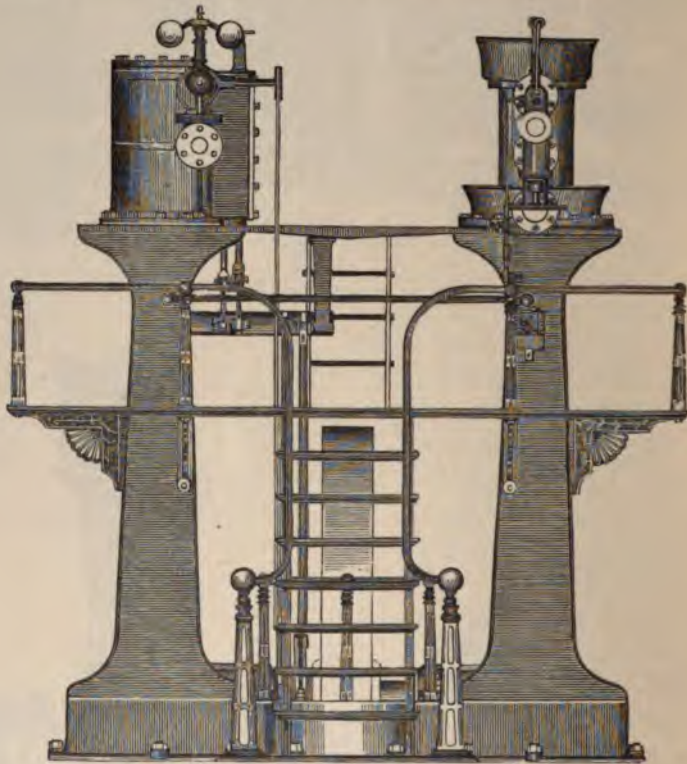


Fig. 111.

Kilbourn's
Ammoniak-
Kom-
pressions-
maschine.

In England gehört hierher die Kilbourn Patent Refrigeration Company in Liverpool, welche Ammoniak-Kompressionsmaschinen baut, die sich nur im Aeussern von den anderen unterscheiden. Sie werden vertikaler Anordnung gebaut und entweder durch vertikale Dampfmaschine Fig. 109 oder durch horizontale Dampfmaschine Fig. 110 angetrieben, der Anordnung, wie in Nordamerika sehr beliebt.

Endlich bauen die Crown Iron Works, L. Sterne & Co. in Glasgow die nachfolgend beschriebenen amerikanischen De la Vergne-Maschinen.

In den Vereinigten Staaten von Nordamerika werden fast nur noch Ammoniakmaschinen nach dem Kompressionssystem gebaut, während

Absorptionsmaschinen mehr vom Schauplatze verschwunden sind. Streng nach dem Linde'schen System baut Fred. W. Wolf in Chicago, der das Ausführungsrecht dieses Systems für Amerika übernommen hat. In ähnlicher Weise werden liegende doppelwirkende Maschinen nach dem sogenannten Empire-System von der Consolidated Ice Machine Company in Chicago gebaut. Im Allgemeinen baut man in Amerika vertikale Maschinen und weicht auch in Konstruktion des Kondensators und Verdampfers von den bei uns gebräuchlichen insofern ab, als man nicht nur

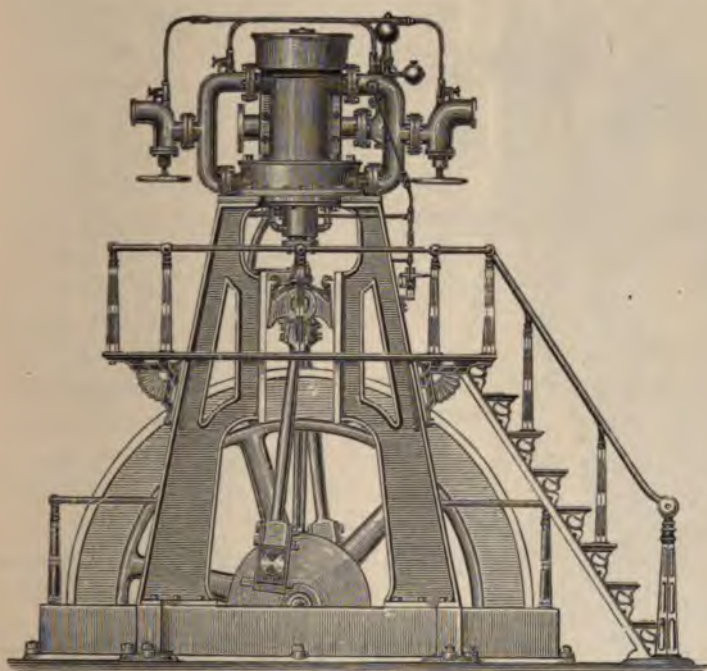


Fig. 112.

Gegenströmung, sondern sogar Berieselung anwendet nach Art unserer Bierkühler. In mancher Beziehung bieten die amerikanischen Einrichtungen Interessantes für uns, wie auch die mit den Maschinen erlangten Resultate zum Theil recht günstige sind. Nur zwei vertikale Maschinen, welche doppelwirkend arbeiten, sind dem Verfasser bekannt geworden; die erste ist in Fig. 111 und 112 mit der Betriebsdampfmaschine zusammengekuppelt abgebildet. Alle übrigen vertikalen Maschinen sind einfachwirkend konstruirt. Die eine doppelwirkende wird die Arctic-Eismaschine genannt und von der Arctic Ice Machine Manufacturing Co. in Cleveland gebaut, von welcher eine grössere Zahl von Maschinen jetzt schon 10 bis 12 Jahre in regelmässigem, ungestörtem Betriebe sind. Die doppelwirkenden Maschinen sind schon so ausführlich behandelt worden,

Amerikani-
sche Am-
moniak-
Kom-
pressions-
maschinen.

dass die Abbildungen zum Verständniss derselben genügen werden, und was sie sonst Besonderes bieten, wird sich bei Besprechung der einfachwirkenden Maschinen klarlegen lassen. Hierin sind es vor allen Dingen die De la Vergne-Maschinen von der De la Vergne Refrigerating Machine Company in New-York, welche beachtenswerth sind. Die Fig. 113 zeigt die Maschine in einem Durchschnitt, und geht sofort daraus

De la Vergne
Ammoniak-
Kom-
pressions-
maschine.

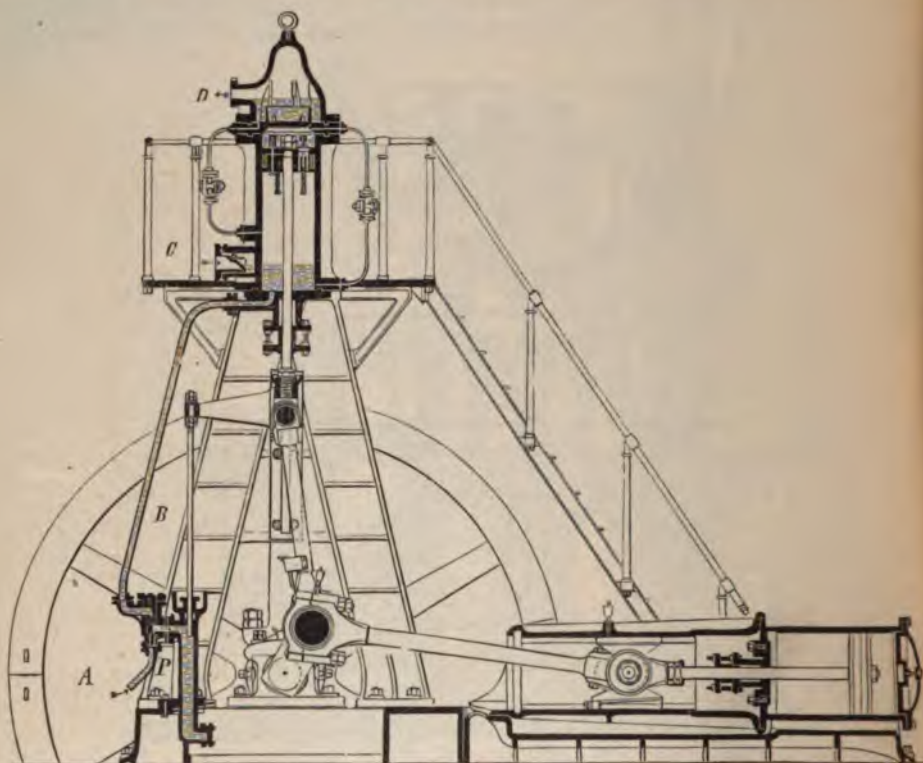


Fig. 113.

A Oel-Zufluss. B Oel-Druckrohr. C Ammoniak-Zufluss. D Ammoniak-Austritt.

hervor, dass die Dampfmaschine liegend arbeitet, während der einfachwirkende Kompressor vertikal, mit der Saugseite nach unten, aufgestellt ist. In der Regel werden zwei solche Kompressoren neben einander aufgestellt. Man ist bei dieser Konstruktion davon ausgegangen, dass die Stopfbüchsen bei Ammoniak-Kompressionsmaschinen hauptsächlich aus dem Grunde so schwer dicht zu halten sind, weil der stark wechselnde Druck von $1\frac{1}{2}$ bis 3 Atmosphären auf der Saugseite und 8 bis 10 Atmosphären auf der Druckseite bei jedem Kolbenwechsel auf die Stopfbüchse abwechselnd einwirkt. Die einfachwirkenden vertikalen Cylinders besitzen, um dem abzuhelfen, auf der Druckseite überhaupt keine Stopfbüchse,

während dieselbe auf der Saugseite vollständig in Oel gewissermaassen eingebettet ist. Es wird angegeben, dass die Packungen nur sehr lose angespannt zu werden brauchen, um vollkommen dicht zu sein, und dass die Kolbenringe in Folge der guten Schmierung und Abkühlung des Oeles fast nie, die Packungen nur einmal im Jahre erneuert zu werden brauchen. Dagegen wird durch Anwendung zweier Cylinder und der dadurch verdoppelten Zahl von Zugstangen, Kolbenstangen und anderer Maschinenteile die Reibung vergrössert. Der Spielraum zwischen Kolben und Cylinderdeckel beim Kolbenwechsel braucht nicht auf das äusserste Maass eingeschränkt zu werden, weil derselbe überhaupt nicht schädlich wirkt, indem die Druckseite stets Druckseite bleibt, die Saugseite stets Saugseite. Auch der Kolben wird unter solchen Umständen leicht dicht halten. Endlich ist schon früher beschrieben worden, auf welche Weise der Ueberhitzung der Ammoniakdämpfe während der Kompression bei anderen Maschinen entgegengewirkt wird, durch Einspritzung flüssigen Ammoniaks. Dass ausser der schädlichen Trockenheit im Cylinder auf den Gang des Kolbens auch Verluste durch die Ueberhitzung der Dämpfe entstehen, erklärt sich aus der Ausdehnung des komprimierten Dampfes durch die Ueberhitzung, so dass der Kompressor nur im Stande ist, eine geringere Gewichtsmenge Ammoniak bei jedem Kolbenhube in den Kondensator zu drücken. Schliesslich ist doch auch die Ueberhitzung auf Kosten mechanischer Arbeit entstanden. De la Vergne spritzt dagegen bei jedem Kolbenhube mittels der Oelpumpe *P* eine grössere Menge Oel in den Cylinder und schmiert dadurch Kolben und Stopfbüchse, wie er auch alle Räume und Oeffnungen derart mit Oel anfüllt, dass in der That keinerlei schädliche Räume mehr existiren; dieses Oel nimmt ferner die während der Expansion entstandene Wärme auf, so dass der Vorgang sich der isothermischen Arbeitslinie wirklich annähern kann. Die Konstrukteure der De la Vergne-Maschine versichern, dass die Vergrösserung des Nutzeffektes ihrer Maschinen seit Einführung dieser Anordnung erheblich geworden sei.

Der Cylinder, welcher in Fig. 114 speciell abgebildet ist, wird 15 bis 20 Centimeter länger gemacht, als der Hub des Kolbens ist, so dass



Fig. 114.

beim niedrigsten Kolbenstande noch eine Kammer über der Stopfbüchse frei bleibt, welche mit Mineralöl angefüllt ist, so dass zwischen Kolben und Stopfbüchsendeckel keinerlei schädlicher Raum bestehen bleibt; ebenso tritt beim niedrigsten Kolbenstande, während die Ventile im Kolben noch offen sind, etwas Oel über denselben, wodurch auch der Kolben abgedichtet wird. Während des Kolbenaufgangs soll zuerst das Ammoniak komprimirt werden, dann soll sehr bald das Oel über dem Kolben schnell

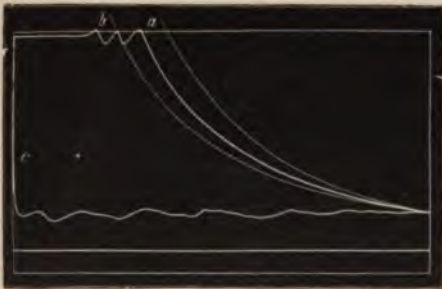


Fig. 115.



Fig. 116.

Fig. 117.

nachfolgen, so dass es die Ausgangsventile vollkommen bedeckt. *A* ist in der Zeichnung das Eintrittsrohr für das Ammoniak, welches aus dem Verdampfer kommt, mit Saug-Klappenventil, welches sich während der

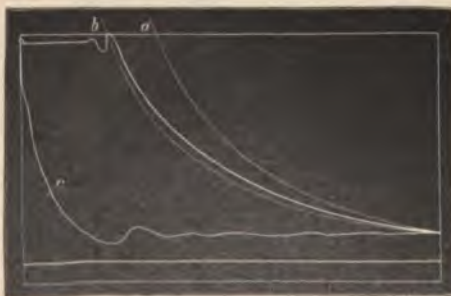


Fig. 118.

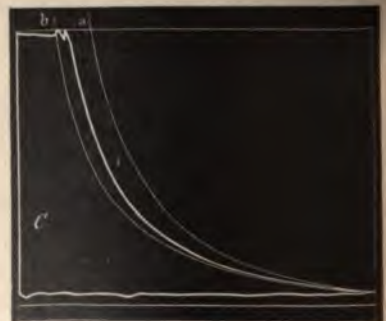


Fig. 119.

Saugperiode öffnet und während des Rückganges des Kolbens schliesst; dagegen öffnen sich die Ventile *b* in dem Kolben, um die Ammoniakdämpfe über den Kolben treten zu lassen. Durch das Rohr *c* tritt das Oel, welches bei jedem Kolbenrückgange durch die erwähnte Oelpumpe eingepumpt wird, derart, dass der Cylinder sich ganz voll Ammoniakdampf befindet, bevor die Einführung des Oeles vor sich geht, so dass also das Oel nicht etwa einen Raum einnimmt, der dem Ammoniak gebührt. Der Austritt des komprimirten Ammoniakdampfes erfolgt durch das Rohr *B*, nachdem dasselbe durch das Druckventil *D* seinen Weg genommen hat.

Die De la Vergne Company hat Versuche gemacht über die durch ihre Konstruktion gegenüber der früheren Einrichtung an einfachwirkenden Kompressoren erzielten Ersparungen und hat verschiedene Indikatordiagramme zu dem Behufe genommen. Sie sagt darüber:

Fig. 115 zeigt ein Diagramm, welches von einem Kompressor von 14 Zoll englisch Durchmesser und 28 Zoll Hub genommen ist, der mit 150 engl. Pfund ($10\frac{1}{2}$ Atmosphären) Druck pro Quadratzoll englisch auf der Druckseite, 27 Pfund (1,9 Atm.) auf der Saugseite und 36 Touren in der Minute arbeitete. Der erforderliche Kraftaufwand beträgt nach dem Diagramm 48 Pferdekräfte. Auf dem Diagramm ist *a* die adiabatische, *b* die isothermische Kurve, und ist die Kraft nach der adiabatischen Kurve gemessen, nach welcher die Kompression ohne die Kühlung verläuft, 53,6 Pferdekräfte. Es sind daher durch Anbringung der Oelkühlung



Fig. 120.

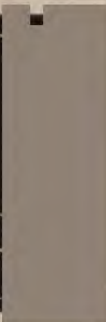


Fig. 121.

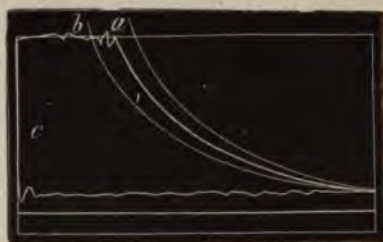


Fig. 122.

5,6 Pferdekräfte an jedem Kompressor erspart worden, im ganzen also 11,2 Pferdekräfte, und die Wirkung des Kompressors ist 99,6 Proc. der theoretischen Leistung.

Fig. 116 und 117 sind die Diagramme vom Dampfzylinder derselben Maschine. Der Dampfdruck im Dampfkessel war 68 Pfund, der Anfangsdruck im Cylinder 65 Pfund, der mittlere wirksame Druck des Diagramms 32,4 Pfund, die geleistete Arbeit daher 63 Pferde.

Das Diagramm Fig. 118 stammt von einem Kompressor, der noch ohne die Sperrflüssigkeit arbeitete, und der einem Kompressionsdruck von 157 Pfund und einem Saugdruck von 20 Pfund unterlag. Die Kraft berechnet sich nach dem Diagramm auf 44 Pferde. Die Kompressionskurve müsste sich hier der adiabatischen Kurve *a* nähern, in Wirklichkeit aber kommt sie der isothermischen *b* nahe. Das rührt aber hier her von einem Verlust von 15,2 Proc. des Ammoniakdampfes während der Kompression in Folge Durchtretens durch die unvermeidlichen Undichtigkeiten des Kolbens; ferner findet sich ein Verlust von 7,4 Proc., dargestellt durch die Kurve *c* und verursacht durch die Wiederexpansion des Ammoniak-

dampfes, der sich in dem Raume zwischen Kolben und Cylinderdecke aufhält, während des Kolbenüberganges. Der totale Verlust an einem Kompressor ohne Sperrflüssigkeit stellt sich daher auf 22,6 Proc., so dass die Leistung nur 77 Proc. des nach dem Diagramm Fig. 122 mit Sperrflüssigkeit arbeitenden Kompressors beträgt.

Das Diagramm Fig. 119 wurde an einem Kompressor von 12 Zoll Durchmesser und 24 Zoll Hub gewonnen, und zwar in der Absicht, um den Einfluss der Sperrflüssigkeit zu zeigen, wenn der Kompressor mit extremen Spannungen arbeitet. Die grösste Kompressionsspannung war 194 Pfund (13,6 Atm.), der Druck in der Saugseite nur 9 Pfund, der Kraftgebrauch nach dem Diagramm 30 Pferde. Nach der adiabatischen



Fig. 123.

Kurve gemessen würde der Kraftgebrauch 36,5 Pferde sein, so dass durch Anwendung des Oeles an jedem Kompressor 6,5 Pferdekräfte erspart werden. Die Linie *c* ist so vollkommen scharf in der Ecke, dass es klar ist, dass keinerlei Wiederexpansion beim Rückgang des Kolbens vorhanden ist. Fig. 120 und 121 zeigen die Diagramme der Betriebsdampfmaschine, wonach der Anfangsdruck im Cylinder 68 Pfund, der mittlere Druck 32,55 Pfund war, die Leistung 42 indicirte Pferde.

Die Fig. 122 endlich zeigt an einem Kompressor, der in regelmässigem Betriebe war und dieselben Dimensionen hatte wie der vorstehend untersuchte, bei Druckverhältnissen von 127 Pfund und 14 Pfund einen Kraftgebrauch von 27 Pferdekräften, während die adiabatische Kurve 31,7 Pferde aufweisen würde.

Die De la Vergne Company glaubt danach konstatiren zu können, dass ihre Kompressoren 98 bis 99 Proc. der theoretischen Leistung er-

füllen. Nach fünfjährigem Gebrauche seien in Folge der guten Oel-schmierung die Cylinder noch vollkommen gut gewesen. Da das Oel in geschlossenen Räumen in der Maschine circulirt, so wird das von ihm absorbirte Ammoniak nicht herausdestillirt, vielmehr nur in einem Berieselungsapparat die Abkühlung des Oeles vorgenommen. Dieser Kühlapparat ist genau so konstruirt, wie der Kondensator, welcher in Fig. 123 abgebildet ist, selbstverständlich viel kleiner. Dieselben sind nach Art der gewöhnlichen Berieselungskühlapparate konstruirt, wie sie in Brauereien in Gebrauch sind. Sie bestehen aus runden, starkem Druck widerstehenden Röhren, welche an den Enden durch die in Fig. 124 dargestellten Kniee verbunden sind; die Figur zeigt auch die Art der Verbindung derselben mit den Röhren. Während nun der komprimirte

Ammoniakdampf unten eintritt und schlangenförmig nach oben wandert, wird er durch herabrieselndes Wasser abgekühlt und flüssig gemacht. Auf diese Weise ist das Gegenstromprincip vollkommen durchgeführt und die Kühlwassermenge wird auf das Geringste beschränkt. Man findet an diesen Kühlern die Modifikation, dass die in Fig. 124 gezeichnete



Fig. 124.

Planschenverbindung nur in gewissen Abtheilungen vorkommt, während für gewöhnlich U förmige Rohrenden angewandt werden, um die vielen Verschraubungen zu reduciren. Ferner wird auch die Ableitung des flüssigen Ammoniaks, sowie die Zuleitung der komprimirten Dämpfe in verschiedenen Abtheilungen vorgenommen, um stellenweise Wiederverdampfung zu verhüten. Die durch Gegenströmung eintretenden Vortheile bezüglich Erlangung niedriger Temperatur des flüssigen Ammoniaks und in Folge dessen niedrigerer Spannung, sowie geringerer Gebrauch an Kühlwasser sind schon an anderer Stelle erwähnt, dagegen sind die vielen erforderlichen Verschraubungen und durch mögliche Undichtigkeit derselben die leicht entstehenden Ammoniakverluste ein nicht zu unterschätzender Nachtheil. Die Amerikaner glauben ja allerdings vollkommene Dichtigkeit garantiren zu können. Obwohl sie im Allgemeinen die Verdampfer genau so konstruiren, wie die beschriebenen Kondensatoren, mit dem Unterschiede, dass die Salzlösung an den Verdampferöhren herunterrieselt, so leiten sie doch auch vielfach, wenn sie Räume zu kühlen haben, die Verdampferöhren mit dem zu verdampfenden Ammoniak durch die zu kühlenden Räume, so dass die Kühlung ohne Vermittelung der Salz-

lösung von statten geht. Obwohl ja hierdurch offenbar die Leistung vergrößert wird, so ziehen die ausführenden Fabriken doch im Allgemeinen besondere Verdampfer vor, was auf eine Anerkennung der schwierigen Dichthaltung der verschraubten Röhren hinzudeuten scheint. Die De la Vergne Company hat allerdings eigenthümliche Raumkühlung eingeführt nach dem erwähnten Verfahren, welche an der betreffenden Stelle, wo wir über Raumkühlung sprechen werden, beschrieben werden soll.

Wir wollen hier darauf aufmerksam machen, dass die mitgetheilten Resultate der De la Vergne-Maschinen nur in Vergleich gezogen sind zu ihren früheren Konstruktionen, und dass Vergleichsversuche gegen die deutschen doppelwirkenden Maschinen nicht existiren. Vielleicht gelingt es an anderer Stelle, sich ein Urtheil darüber zu bilden.

Aehnlich sind die vertikalen Boyle-Maschinen, mit dem Unterschiede, dass sie ohne Sperrflüssigkeit arbeiten und dass die Dampfmaschine ebenfalls vertikal zwischen beiden Kompressoren aufgestellt ist. Sie werden von der Consolidated Ice Machine Company in Chicago neben den liegenden Empire-Maschinen gebaut. Die Boyle-Maschinen sind die ältesten Ammoniak-Kompressionsmaschinen in Amerika. Auch die Kondensatoren und Refrigeratoren sind ähnlich wie die vorstehend beschriebenen.

In den letzten Jahren hat auch die De la Vergne Company ihre Maschinen doppelwirkend gebaut, hat aber das Princip des Oelabschlusses beibehalten. Es machte einige Schwierigkeiten, zu erreichen, dass das Oel

erst nach der Abführung der Ammoniakdämpfe in den Kondensator mit übergang, um Wiederverdampfung zu vermeiden. Durch die folgende Konstruktion ist das vermieden. An dem unteren Ende des Kompressors befinden sich beide Druckventile, eines über dem anderen. Beim Niedergange des Kolbens öffnen sich beide Ventile so lange, bis das obere vom Kolben bedeckt ist, worauf nur das untere die Verbindung mit dem Kondensator aufrecht erhält. Im weiteren Laufe des Kolbens, und sobald das untere Ventil geschlossen ist, tritt das obere in Verbindung mit einer im Kolben befindlichen ringförmigen Kammer. Diese Kammer hat im Boden des Kolbens zwei Ventile, die sich nach oben öffnen können, und dies

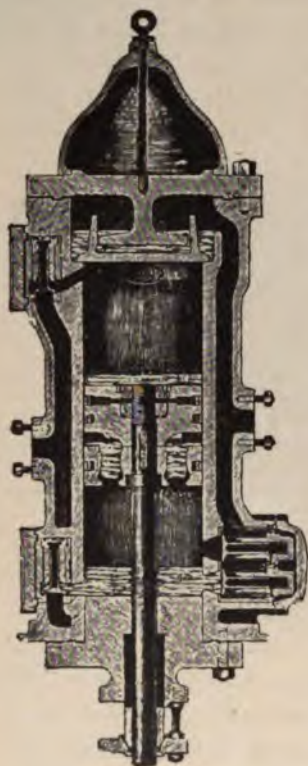


Fig. 125.

thatsächlich thun, sobald alle sonstigen Auslässe der unteren Seite geschlossen sind. Durch sie geht dann der Rest des Ammoniaks vor dem

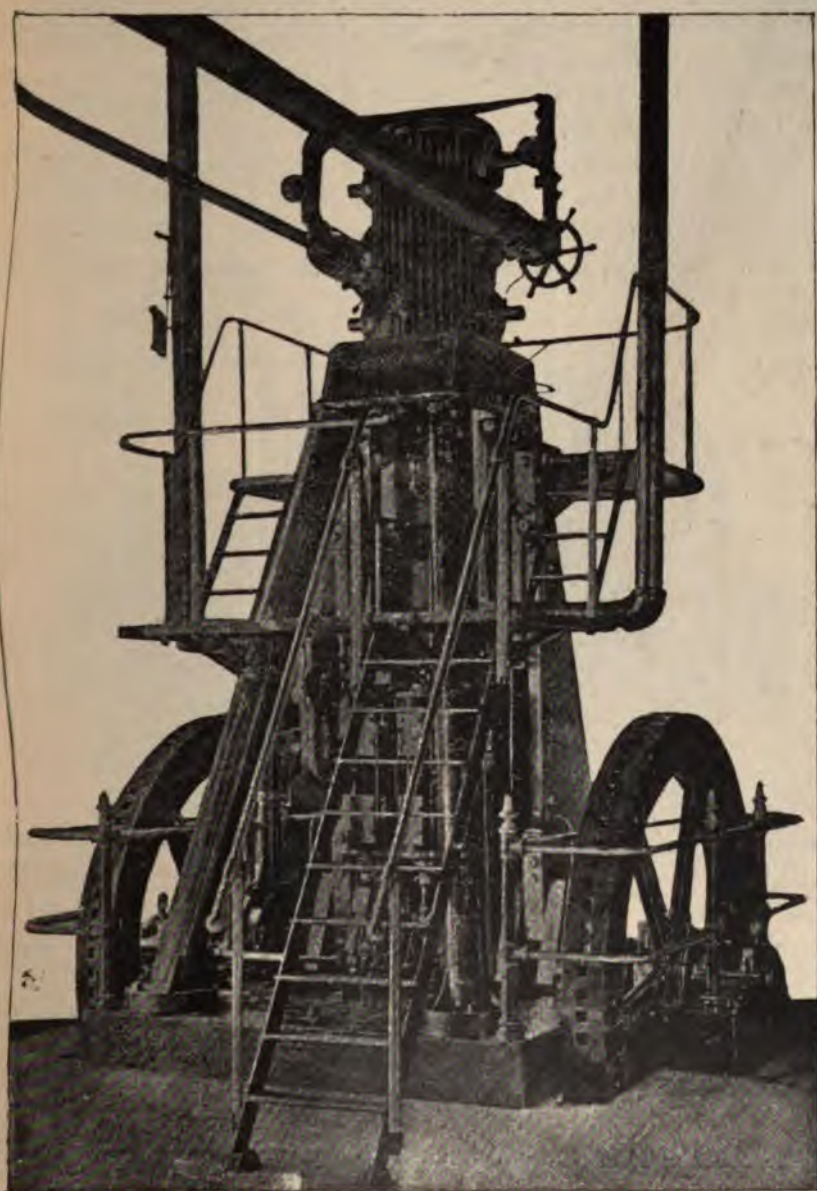


Fig. 126.

Oel hinaus, und dasselbe dichtet die Stopfbüchse ab. Die Fig. 125 giebt eine Abbildung dieses doppelwirkenden Cylinders.

Das De la Vergne-System unterscheidet sich, wie man sieht, der Hauptsache nach darin von unseren, namentlich den Linde-Maschinen, dass bei ihm die Sperrflüssigkeit in den Cylinder verlegt ist, während sie bei uns in der Stopfbüchsenkammer liegt. Dadurch wird die umfangreiche und complicirte Oelabscheidung nöthig.

Das Oel stellt man sich in Amerika so her, dass man dasselbe ausfrieren lässt, wodurch das schwer gefrierbare Oel zurückbleibt.

Die von der Buffalo Refrigerating Machine Co. in Buffalo gebauten Maschinen bieten nichts Besonderes gegen die gewöhnlichen Kompressoren, welche nach De la Vergne'scher Art mit Oelabschlüssen versehen sind. Auch die Anordnung ist theils ähnlich mit vertikalen Kom-

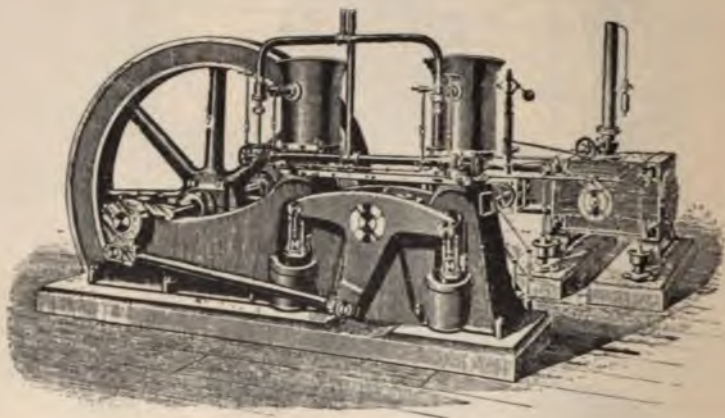


Fig. 127.

pressoren und horizontaler Dampfmaschine, theils mit vertikaler direkt verbundener Maschine. - Letztere haben freilich das Uebel, dass die Expansion im Dampfzylinder weiter vorschreitet, wenn die Kompression im Kompressor zunimmt. Es ist dadurch der lebendigen Kraft des Schwungrads eine sehr bedeutende und ungewöhnliche Arbeit überwiesen.

Hieran schliessen sich die Case Refrigerating Machines, deren Compagnie in Buffalo N.-Y. domicilirt, die sehr verbreitet in Amerika sind, sich aber in der Konstruktion nicht hervorragend von den zuletzt genannten unterscheiden. Fig. 126 zeigt eine Abbildung. Von dieser Firma wird aber auch die Dampfmaschine liegend zu dem vertikalen Kompressor angeordnet, der Konstruktion der De la Vergne-Maschinen entsprechend.

Schliesslich sind noch besonders die „Hercules“-Maschinen von den Hercules Iron Works in Chicago hervorzuheben, bei denen doch wieder einmal ein selbständiges System durchgeführt ist. Die Maschine wird meistens von einer liegenden Dampfmaschine aus, Fig. 127, ange-

Hercules-
Ammoniak-
Kom-
pressions-
maschine.

trieben, die Kompressoren sind einfachwirkend und werden von der Kurbel der Schwungradwelle aus vermittelst einer Flügelstange durch ein Balancier in Bewegung gesetzt, im Uebrigen erklärt sich alles von selbst. Beachtenswerth ist aber der Kompressor, und es soll hier nach dem Gedankengange der Konstrukteure gegangen werden. Sie gehen davon aus, dass es erwünscht sei, dass das in den Kompressor eintretende Ammoniak keine geringere Spannung besitze, als im Verdampfer. Der Hercules bewirke dies durch freien Eintritt desselben in den Cylinder durch die ringförmig angeordneten Oeffnungen auf Fig. 128, welche sich an dem unteren Ende des Cylinders befinden und welche direkt mit einer speciellen Kammer communiciren, die mit Ammoniak vom Verdampferdruck angefüllt ist. Es sei bei

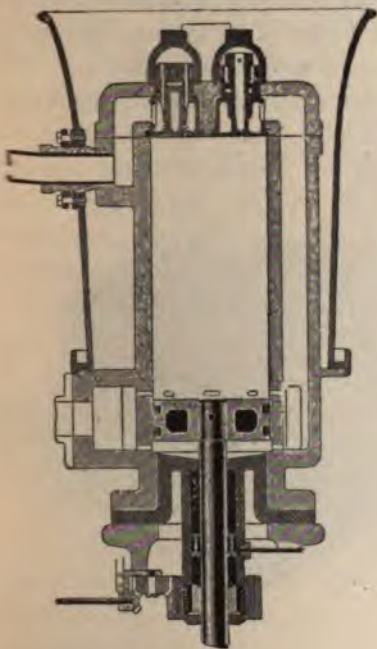


Fig. 128.

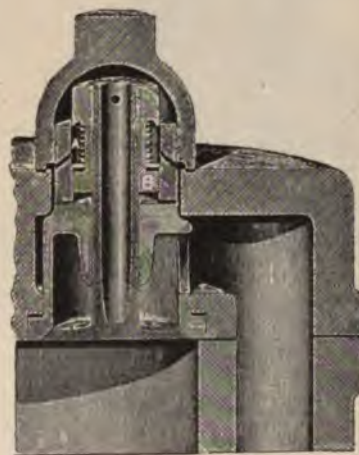


Fig. 129.

allen Eismaschinen, welche nur durch ein belastetes Ventil die Dämpfe zuführen, eine niedere Spannung im Kompressor vorhanden, die dem Federdruck entspricht. Dies sei keine blosse Voraussetzung, sondern durch Diagramm nachgewiesen und gebe fast $\frac{1}{4}$ Spannungsverlust. Die Verminderung habe auch noch den Grund, dass die eintretenden Dämpfe nicht dem zurückweichenden Kolben entsprechend schnell genug nachströmen können. In der Figur befindet sich der Kolben an seinem äussersten Stande unten, der Cylinder ist mit Ammoniak durch das obere Saugventil gefüllt, also mit viel weniger als dem Verdampferdruck. Das nach demselben strömende Ammoniak tritt durch ein Seitenrohr in die den Cylinder umgebende hohle Kammer ein und füllt sie aus. Eben

bevor der Kolben seinen Hub vollendet, passirt er die erwähnten ringförmig angeordneten Oeffnungen, und es tritt durch dieselben Ammoniak vom vollen Verdampferdruck in den Cylinder. Beim Rückgange findet dann die Kompression statt. Die verwendeten Ventile sind sehr gross, liegen im Deckel des Kompressors und sind so gross, dass sie nur durch dessen Durchmesser begrenzt werden. Die Fig. 129 zeigt ein Saugventil in geschlossenem Zustande, geschlossen gehalten durch eine Spiralfeder. Sobald der Kolben beginnt nach unten zu gehen, öffnet sich durch den Dampfdruck das Ventil, und der Cylinder beginnt sich zu füllen. Unter *A* ist eine kleine Oeffnung zu sehen, welche den Dampfeinlassraum mit einer kleinen ringförmigen Kammer unter *B* verbindet. Wenn sich das Ventil nach unten öffnet, so bildet der Ammoniakdampf hier ein elastisches Kissen, um das Ventil in der Schwebe zu halten. Sobald der Kol-

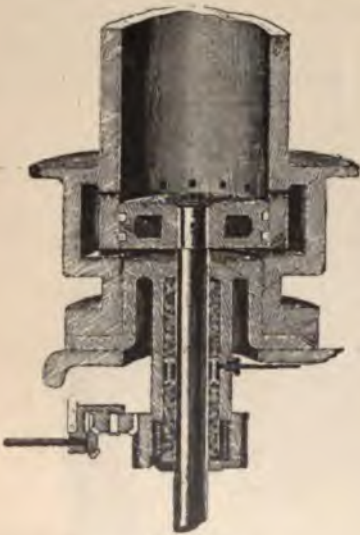


Fig. 130.



Fig. 131.

ben unten angelangt ist, tritt der stärker gespannte Dampf von Verdampferspannung unten ein und schliesst das Saugventil. Die Stopfbüchse Fig. 130 ist von ungewöhnlicher Länge, sie kann mittels ein Paar konischer Räder und einer durch den Ständer der Maschine hindurchgehenden drehbaren Stange auch während des Ganges fest angezogen werden. Eine Oelkammer nach Linde'scher Art dient dazu, um kontinuierlich Oel durch die Stopfbüchse zu pumpen.

Auch der Kondensator ist etwas abweichend konstruirt, und ist in einen Vorkühler und einen Verflüssiger eingetheilt. Der Vorkühler liegt tiefer als der Verflüssiger in einem Wasserbecken. Bevor das Ammoniak in denselben eintritt, scheidet sich in einem Behälter Oel aus, ebenso wenn es ihn verlässt, um in den Verflüssiger überzutreten. Auch dieser zeigt in Fig. 131 eine von der gewöhnlichen etwas abweichende Form.

Das Kühlwasser rieselt über die Röhren und tritt dann erst in den Vorwärmer ein, um dort zum zweitenmale zu wirken. Uebrigens werden die Kühler auch in geschlossenen Wasserkasten geliefert.

Auch diese amerikanische Firma hat das direkte Expansionsverfahren in den Kühlräumen eingeführt.

Wir haben nun noch die Verbesserungen zu erwähnen, welche an Ammoniak - Kompressionsmaschinen gemacht worden sind, und welche sich zuweilen an solchen Maschinen angebracht finden:

Wir begegnen da einem Vorschlag von Linde, die Kompressionspumpe durch ein Dampfstrahlgebläse zu ersetzen.

Die zum Zwecke der Kühlung verdampfende flüchtige Flüssigkeit umgibt in einem Kessel ein Schlangenrohr und entzieht der in letzterem circulirenden, schwer frierenden Flüssigkeit Wärme. Die entstandenen Dämpfe werden durch ein Dampfstrahlgebläse angesaugt und in einen anderen Kessel gedrückt, in dem eine Kühltangabe ihre Kondensation bewirkt; die sich sammelnde Kondensationsflüssigkeit tritt durch ein Rohr und Ventil in den Verdampfer zurück.

Der für das Dampfstrahlgebläse erforderliche Betriebsdampf wird in einem dritten Kessel aus der gleichen flüchtigen Flüssigkeit erzeugt, die den Kühlprozess durchführt.

Eduard Fixary in Paris schlägt vor, das Oel zum Schmieren der Kompressoren zum Gefrieren zu bringen, indem man die Oelkammer in der Stopfbüchse mit einem Mantel umgibt, in welchem flüssiges Ammo-

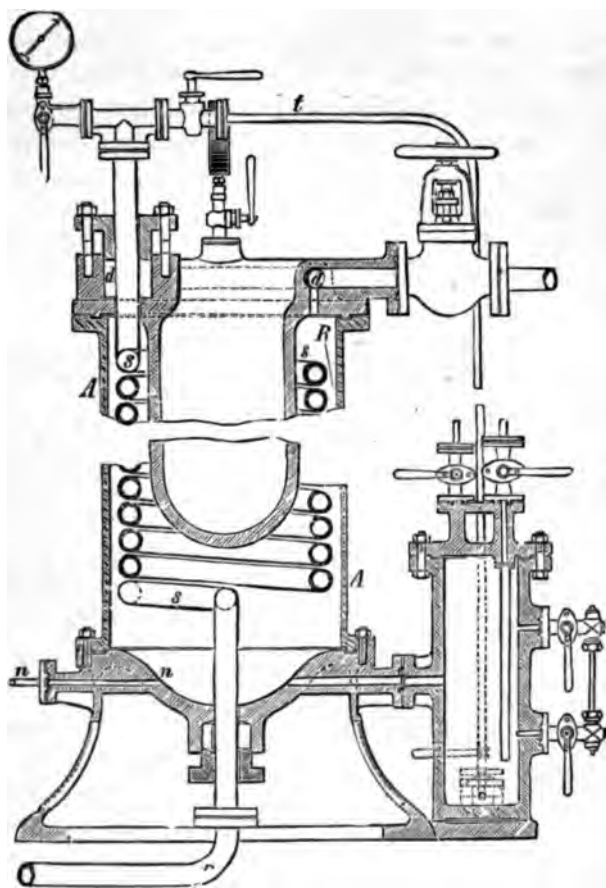


Fig. 132.

niak zum Verdampfen gelangt. Das gefrorene Oel soll gut abdichten und schmieren. M. M. Rotten in Berlin will dagegen die aus der Stopfbüchse entweichenden Ammoniakdämpfe mittels eines Injektors dadurch ansaugen, dass er in der Injektordüse flüssiges Ammoniak aus der Maschine expandiren und verdampfen lässt. Beide Einrichtungen sind patentirt.

Hartung &
Wepner's
Ammoniak-
Kom-
pressions-
maschine.

Hartung & Wepner haben bei Ammoniak-Kompressionsmaschinen mit einfachwirkendem Cylinder die Einrichtung getroffen, dass der Raum hinter dem Kolben durch eine Pumpe mit Saug- und Druckventil mit der Saugleitung in Verbindung gebracht ist, um die durch Undichtigkeit des Kolbens entweichenden Ammoniakgase in die Saugleitung zurückzuführen. Kolben und Kolbenstange werden bei diesen Maschinen innerlich durch Kühlwasser gekühlt.

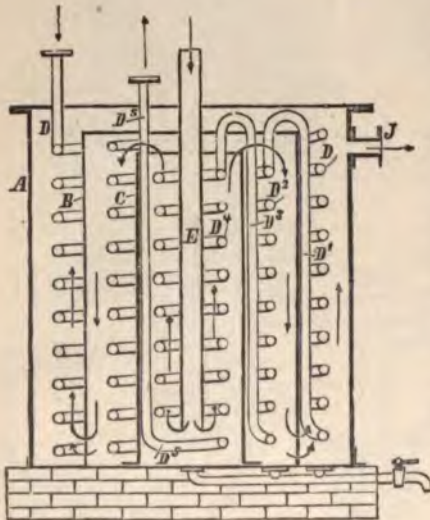


Fig. 133.

während der Behälter *A* mittels des ringförmigen Raumes *d* mit dem Druckrohr des Kompressors communicirt. Durch das enge Rohr *n* steht der Raum *R* mit dem Verdampfer in Verbindung, so dass das durch die Schlange fließende Ammoniak abgekühlt wird, befördert durch theilweise Verdampfung desselben. Es ist klar, dass diese Abkühlung nur auf Kosten von Betriebskraft erfolgen kann.

Eine ganz complicirte Einrichtung der Kälteerzeugung ist von Ch. Tellier vorgeschlagen, um mittels Abdampf einer Dampfmaschine und unter Einwirkung einer Kompressionspumpe die Ammoniakdämpfe aus einer Lösung auszutreiben. Da der Vorschlag für die Praxis kaum von Bedeutung sein wird, so wollen wir uns damit nicht aufhalten.

H. Worgitzky hat wie die Amerikaner versucht, die Sperrflüssigkeit, statt in den Stopfbüchsen zu halten, in den Kompressor einzuspritzen, um von der Cylinderseite her die Stopfbüchse abzuschliessen gegen Undichtigkeiten des Ammoniaks. Hartung & Wepner haben im Kondensator dadurch ohne Kühlwasser gearbeitet, dass sie im Innern des Verdampfers einen Kondensator angebracht haben, welcher aus dem Behälter *A* Fig. 132 mit ringförmigem Raum *R* besteht. Die Schlange *o* ist an einem Ende mit dem Saugrohr *r* des Kompressors, am anderen Ende durch ein dünnes Rohr *r* mit dem flüssigen Ammoniak verbunden,

Friedr. Spies Söhne lassen in einem Vorkühler die vom Kompressor nach dem Kondensator gehenden komprimierten Dämpfe mittels Gegenströmung durch die vom Verdampfer nach der Saugseite des Kompressors gehenden kalten Dämpfe vorkühlen. Auch dieses Verfahren wird nur zweifelhaften Erfolg haben, weil die expandirten Dämpfe so viel wärmer eintreten und daher auf höhere Temperatur komprimirt werden.

Paul Beck macht den Versuch, einen Theil der Wärme der Kaldampf-Flüssigkeit in Arbeitsleistung dadurch umzusetzen, dass er vom Kondensator aus einen geringen Theil der Flüssigkeit in die Saugseite des Kompressors eintreten lässt, die expandirt und Arbeit leistet.

Eine ähnliche Einrichtung hat Emil Riegelmann vorgeschlagen.

Johannes Fleischer hat im Verdampfer Gegenströmung dadurch

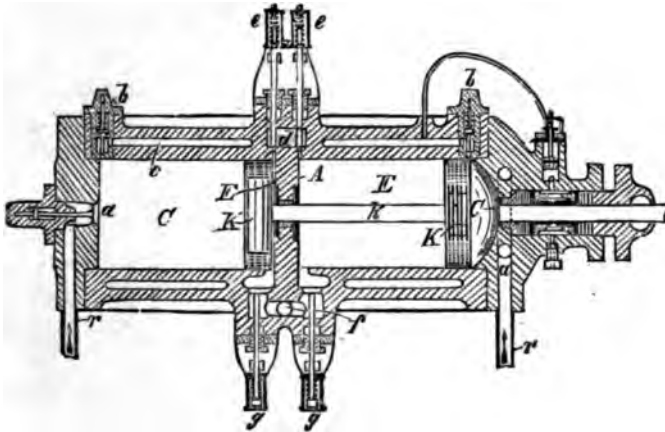


Fig. 134.

eingeführt, dass der Kaldampf durch die äussere Schlange *D* Fig. 133, dann durch das Steigrohr *D*₁ in die Schlange *D*₂, und von da durch das Steigrohr *D*₃ in die mittelste Schlange *D*₄ geht. Die wärmere Salzlösung strömt durch das Einlassrohr *E* dem entgegen bis an den Boden des inneren Gefässes, steigt in die Höhe, fliesst über in Gefäss *C*, und durch untere Oeffnungen in das äussere Gefäss *A*, von wo es durch Rohr *J* nach der Pumpe übergeht.

Victor Sedlacek macht den Versuch nach den Zeuner'schen Angaben, einen Kompressor mit Einrichtung zur Ausnutzung der Expansivkraft der von dem Kondensator zu dem Verdampfer strömenden Flüssigkeit herzustellen. In der Mitte des Kompressors befindet sich die Scheidewand *A* Fig. 134, in den beiden so gebildeten Räumen bewegt sich der Doppelkolben *KK*. Durch die beiden gesteuerten Ventile *ee* und das Rohr *d* treten die Dämpfe aus dem Kondensator abwechselnd in die durch die Scheidewand gebildeten Räume *EE* ein, und zwar zwischen Scheide-

Sedlacek's
Expansions-
cylinder.

wand und Kolben, expandiren dort arbeitsleistend und werden dann erst durch die gesteuerten Ventile *gg* und das Rohr *f* in den Verdampfer gelassen. Dagegen treten durch die Rohre *rr* und die Ventile *a* die aus dem Verdampfer kommenden Dämpfe zwischen Kolben und Böden des Cylinders, und werden dort komprimirt. Durch die Druckventile *bb* streichen dann die Dämpfe durch den Cylindermantel, an dem sie sich vorkühlen, und dann in den Kondensator.

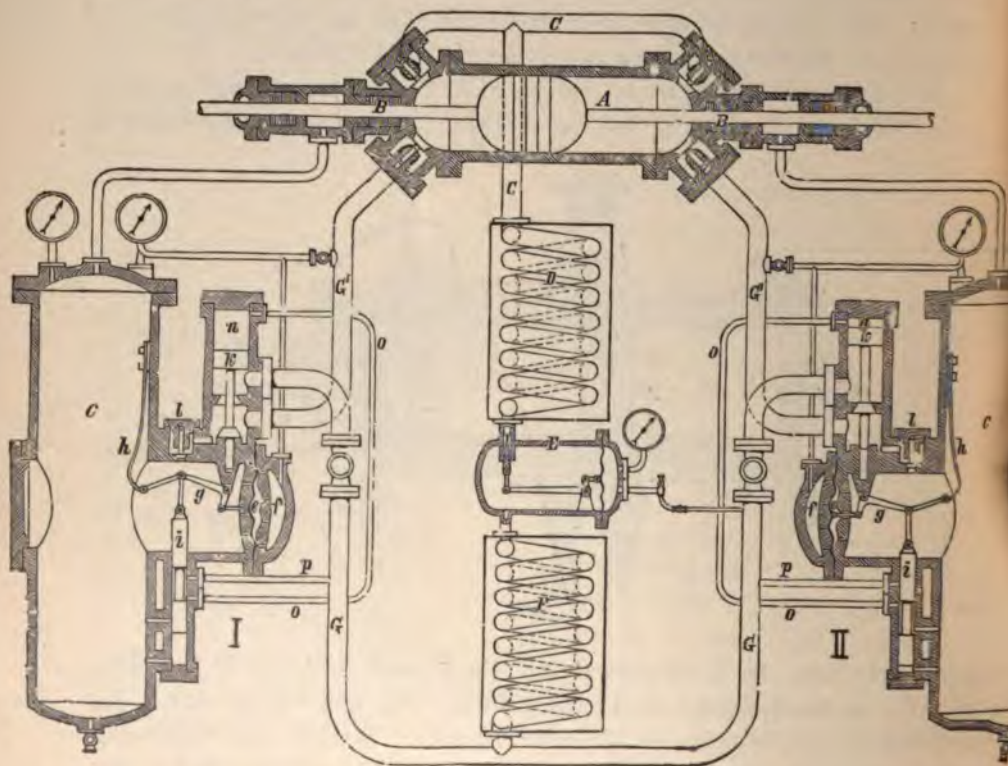


Fig. 133.

Es existiren nun eine Reihe von Vorrichtungen, um die durch die Stopfbüchse des Kompressors entweichenden Dämpfe wieder zu gewinnen oder aus dem Oel abzuscheiden, von denen einige beschrieben sein mögen.

Nehrlich's
Kom-
pressions-
maschine.

Hugo Nehrlich sammelt die Dämpfe in einem geschlossenen Gefässe und befördert sie in die Saugleitung der Maschine derart zurück, dass bei einem bestimmten Druck im Sammelgefäss durch eine Hebel- und Ventilanordnung die Saugleitung vom Verdampfer abgesperrt und mit dem Sammelgefäss verbunden wird. Sobald es leer gesaugt ist, wird die frühere Verbindung mit dem Verdampfer wieder hergestellt. Die Vor-

richtung, welche zur Sammlung und Rückbeförderung der aus der Hauptstopfbüchse *B* des Kompressors *A* entweichenden Dämpfe dient, ist auf der Abbildung Fig. 135 doppelt dargestellt. *C* ist das Hauptdruckrohr, *D* der Kondensator, *E* ein Regulirventil, *F* der Verdampfer und *G G₁* sind die Hauptsaugerohre.

Im Vorraum *f* ist die Membran *e* äusserlich von einem konstanten Dampfdruck und durch die Ueberklappfeder *h* belastet, und zwar durch die Anordnung des Hebelsystems *G* in der bei *I* gezeichneten Stellung im gleichen Sinne, wie durch den Dampfdruck in *f*. So lange nun die entweichenden Dämpfe, die sich in *c* allmählich anhäufen, noch nicht die erforderliche Spannung erreicht haben, verharren die Membran und alle übrigen Organe in der bei *I* abgebildeten Stellung. In diesem Zustande hält der Steuerschieber *i* den Raum *n* oberhalb des Ventilkolbens *k* auf dem Wege *o* und *p* mit *G* in Verbindung, so dass über dem Kolben *k* der Verdampfendruck lastet. Demselben Druck ist der Kolben aber auch von unten ausgesetzt, und das Wechselventil *k* bleibt durch sein eigenes Gewicht geöffnet. In der bei *I* gezeichneten Lage des Wechselventils ist also die Hauptsaugerohrleitung nicht unterbrochen, d. h. die Maschine befindet sich in normaler Thätigkeit.

Haben endlich die im Gefäss *c* sich ansammelnden Dämpfe eine die Belastungsfeder *h* übertreffende Spannung erreicht, so drücken sie die Membran nach aussen durch, unter Mitwirkung der Feder *h*. Die Membran *e*, das Hebelwerk *g* und der Steuerschieber *i* schlagen also in die bei *II* abgebildete Stellung über, die Dämpfe entweichen in das Gefäss *c*, und der unter dem Kolben befindliche Verdampfendruck bewegt ihn nach aufwärts, wodurch der daran befestigte Ventilkegel in die Stellung *II* kommt. Die Hauptsaugerohrleitung *G* ist dadurch vom Kompressor abgesperrt, wodurch er genöthigt ist aus dem Gefässe *c* durch Vermittelung des Saugventils *l* zu saugen, statt aus dem Verdampfer. Das ist mit wenigen Hüben geschehen, dadurch sinkt die Spannung in *C*, die Membran wird von innen entlastet, und die Spannung in *f* drückt die Membran nach innen durch. Dadurch kommt die ganze Einrichtung wieder in die Stellung *I*, um das Spiel von Neuem zu beginnen.

Die Maschinenfabrik Germania in Chemnitz scheidet das Oel aus dem Ammoniak der Eismaschinen dadurch ab, dass sie einen Theil

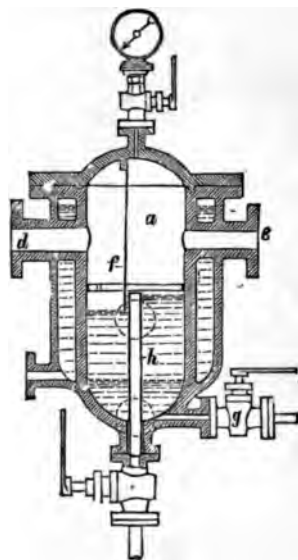


Fig. 136.

der Dämpfe vor dem Eintritt in den Kondensator zu Flüssigkeit mittels Vorkühlung verdichtet und die nachfolgenden Dämpfe zwingt, die Flüssigkeit zu durchstreichen, wobei sich die Unreinigkeiten absetzen. Der Behälter *a* Fig. 136 ist von einer Kühlflüssigkeit umgeben, die Dämpfe treten bei *d* ein und bei *e* aus, und gehen dann nach dem Kondensator. Zwischen den beiden Rohrstützen befindet sich im Gefässe *a* die Zwischenwand *f* so dass die Dämpfe durch die Flüssigkeit streichen müssen. Durch das Ueberlaufrohr *h* kann der Flüssigkeitsstand regulirt und die abgelassene Flüssigkeit durch Destillation gereinigt werden.

ierung
kon-
ntem
ett.

Wilhelm Gillmann versucht die Schmierung der Kolbenstange mit konsistentem Fett mittels eines unter Druck stehenden Behälters.

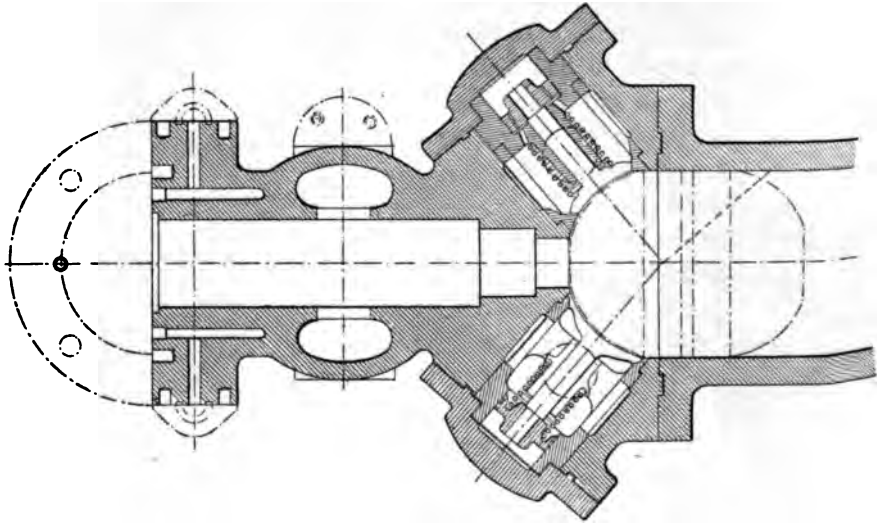


Fig. 137.

Stopfbüchse
Ringraum
für
circulirendes
Öel.

In Fig. 137 sieht man eine einfache Stopfbüchse, bei welcher der Ringraum mit circulirendem Oel versehen ist. Sie wird bei einfach wirkenden Kompressoren angewendet, bei denen die Saugseite auf der Stopfbüchsen- und die Kompressionsseite auf der hinteren Cylinderseite ohne Stopfbüchse erfolgt. Auf diese Weise ist die Stopfbüchse stets nur dem geringeren Saugdrucke ausgesetzt, und daher leichter zu halten. Dieser Fall kommt auch bei Compoundkompressoren vor, bei warmem Kühlwasser Anwendung finden.

Disposition
Kom-
dkom-
soren.

Fig. 138 zeigt zwei Dispositionen solcher Compoundkompressoren. Der erste Kompressor ist doppelwirkend und drückt die Dämpfe in ein Reservoir, das äusserlich mit Wasser gekühlt wird, und aus welchem der zweite Kompressor mit einfacher Wirkung derart ansaugt, dass nur die Cylinderseite, welche keine Stopfbüchse besitzt, zur Wirkung gelangt. Hier findet dann die endgültige Kompression auf den erforderlichen Druck statt.

(Disposition 1). — Die für Schiffe bestimmten Kompressoren werden mit zwei einfach wirkenden Cylindern hergestellt, die in Kompoundwirkung

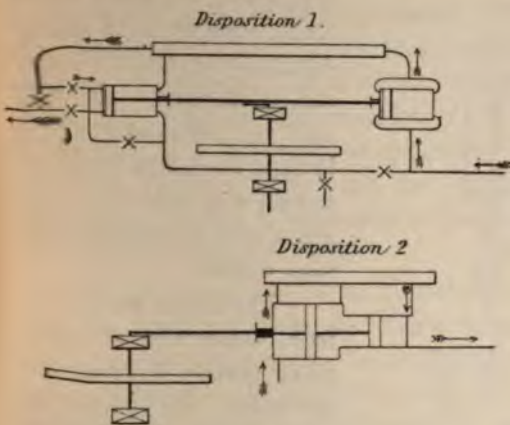


Fig. 138.

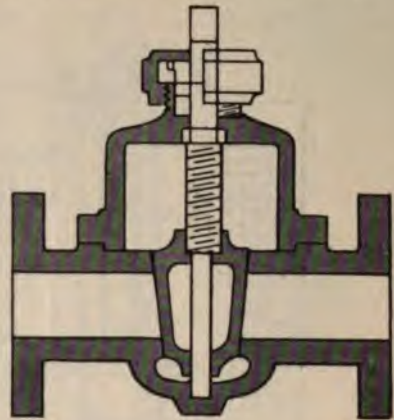


Fig. 139.

arbeiten, so dass die Stoffbüchse nur auf der Saugseite ist (Disposition 2). Der Dampfzylinder sitzt dem Ammoniakkompressor entgegengesetzt. Die Kondensatoren für Dampf und Ammoniak sind in dem Sockel der Maschine eingebettet, welche ein komplettes Ganzes bildet und alle die zum Betriebe erforderlichen Organe trägt.

In der Folge mögen nun einige Maschinenteile abgebildet und auch zum Theil beschrieben werden, wie man bei Ammoniakmaschinen hier und da angebracht findet.

Fig. 139 ist ein Pflöckhahn, der in die Leitung eingeschaltet wird und zur Absperrung dient, vielfach zur Sicherheit eingeschaltet, um den einen oder anderen Maschinenteil absperrn zu können, z. B. den Oelabscheider.

Fig. 140 zeigt ein Rückschlagventil, das auch zur Absperrung angewendet wird. Man findet es an Oelabscheidern angebracht.

Die Kondensatoren sind im Allgemeinen aus gewundenen Röhrenbündeln hergestellt, durch welche das zu verflüssigende Dampfgemisch

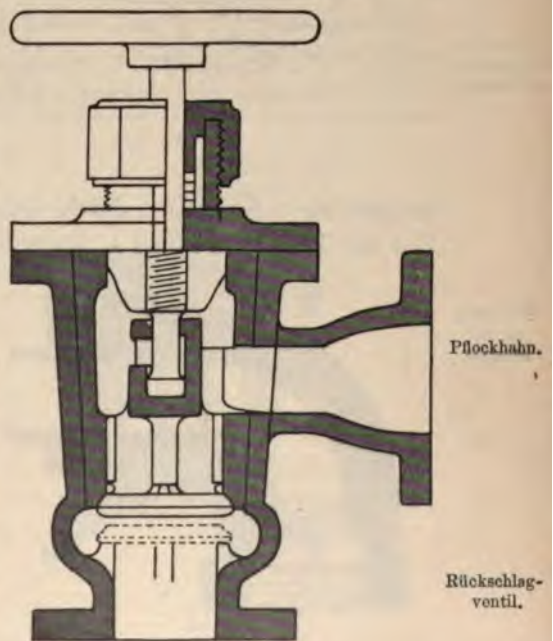


Fig. 140.

streicht, und diese sind bei Tauchkondensatoren von Kühlwasser umgeben. Fig. 141 giebt eine Abbildung davon. Die Röhren sind bei Ammoniak-

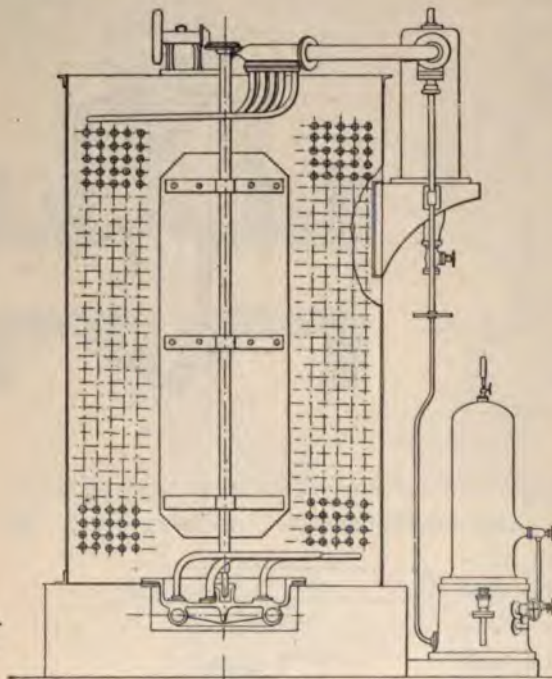


Fig. 141.

Amerikanische Rohrverbindung.

maschinen von Eisen oder Stahl, entsprechend stark, damit sie dem Druck widerstehen können. Kupfer darf bei Ammoniak nicht benutzt werden, weil diese sowohl wie seine Legierungen durch Ammoniak zerstört werden.

Man findet auch vielfach, namentlich in Amerika, gerade Röhren angewendet, die leicht im Falle eines Bruches ersetzt werden können. Aber sie erfordern zahlreiche Verbindungsstellen, die sorgsam ausgeführt werden müssen. Fig. 142 stellt eine solche amerikanische Rohrverbindung dar. Vielfach findet man auch

diesem Falle alle Verbindungsstellen vermieden, durch Schweissung der Rohrenden aneinander.

Von der bekannten Firma L. Seyboth in München sind folgende patentirte Apparate von Interesse.

Seyboth's Oelabscheider.

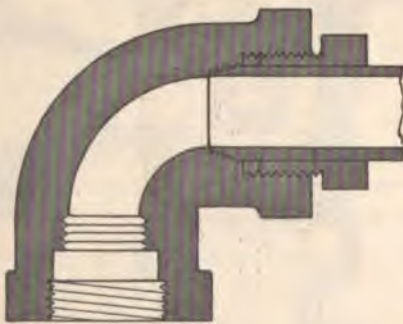


Fig. 142.

Der in Fig. 143 dargestellte Oelabscheider ist so konstruirt, dass, wenn Dampf und warmes Wasser nicht überall verfügbar ist, die Kompressionswärme der Ammoniakdämpfe benutzt wird, um das für die Schmierung der Stopfbüchse nöthige Kompressoröl zu entgasen. Das von den Ammoniakdämpfen mitgerissene Oel sammelt sich, während die Ammoniakdämpfe den Abscheider passieren.

in dem unteren kesselartigen Theile desselben, wo alle feinen und schmirgelartigen Theile sich absetzen, nachdem die festen Bestandtheile wie Zunder, aus den Ammoniakleitungen, Verpackungstheilen etc. an

einem Siebe zurückgehalten werden. Die innere rechteckige Tasche ist mit dem Saugbügel des Kompressors durch eine Rohrleitung verbunden, und besitzt ausser einem Oelstand einen Schmutzablassstutzen, eine Verbindungsleitung nach der Stopfbüchse und eine desgleichen nach dem erwähnten kesselartigen Theile des Oelabscheiders. Durch den ausserhalb der Oeltasche herrschenden Druck von ca. 8 Atmosphären wird nun das Oel nach der Tasche, in welcher nur Saugdruck herrscht, umgeleitet, falls dasselbe noch genügend Schmierfähigkeit besitzt.

Es ist also mittels dieser Einrichtung möglich, das Oel so lange im Kreisprozess der Maschine zu belassen, als seine Schmierfähigkeit es erlaubt. Auf diese Weise ist ein sehr geringer Oel- und Ammoniakverbrauch ermöglicht, während die Bedienung des Apparats eine einfache bleibt. Die der Firma patentirten Saug- und Druckventile Fig. 144 und 145 bewirken durch die regulirbaren Luftpuffer einen ruhigen Gang und geringe Abnutzung der Sitzflächen.

Das in Fig. 146 abgebildete kombinierte Absperr- und Sicherheitsventil ist ein Doppelsitzventil, dessen Verwendung jede Explosionsgefahr

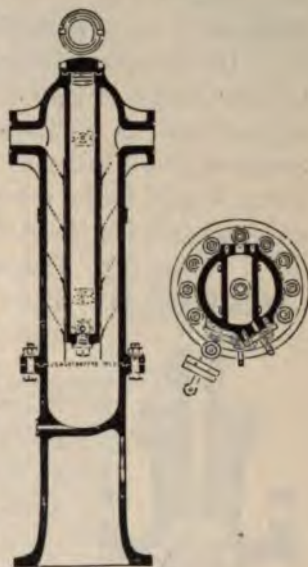


Fig. 143.

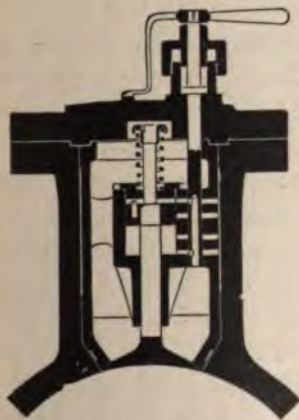
Seyboth's
Ventile.

Fig. 144.

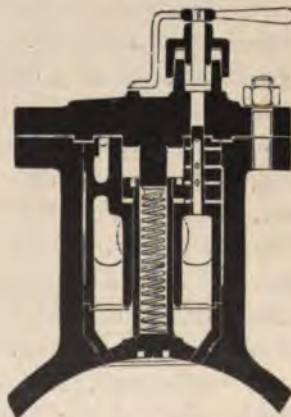


Fig. 145.

in Folge unrichtiger Bedienung vermieden. Es ist namentlich bei kleineren Anlagen von Wichtigkeit, bei denen oft ein ungeschulter Arbeiter mit dem Anlassen des Kompressors betraut wird.

Gebhardt &
König's in
Nordhausen
Druck-
ausgleichs-
ventile.

Gebhardt & König in Nordhausen ordnen kurz vor und hinter den Kompressorventilen einen grösseren Raum an, wodurch eine gute Füllung der Kompressoren gewährleistet werden soll. Dort ist auch ein Sieb zum Abscheiden von Verunreinigungen angebracht.

Die Druckausgleichventile stellen eine Verbindung der Druckseite mit der Saugseite her, die den Zweck hat, den bei geschlossenem Druckabsperrentil im Cylinder und Rohransatz vorhandenen Druck nach der Saugseite, bezüglich dem Verdampfer, ablassen zu können. Das vorhandene kleine Ventil bleibt geöffnet, die Maschine wird in Betrieb gesetzt, und erst nachdem die Maschine ihre richtige Tourenzahl erreicht hat, wird das

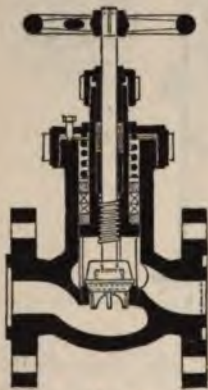


Fig. 146.

Hauptdruckabsperrentil gelockert und mit der rechten Hand geöffnet, während mit der linken Hand zu gleicher Zeit das Druckausgleichventil geschlossen wird.

Sobald nun das Druckabsperrentil ganz geöffnet ist, wird das Saugventil der Maschine geöffnet, um dem Kompressor das Gas aus dem Verdampfer zuzuführen, zu komprimieren, und nach dem Kondensator behufs Verflüssigung zu schaffen.

Soll nun die Maschine behufs Öffnen der Ventilkammer still gesetzt werden, so hat man den Verdampfer möglichst abzupumpen. Man setzt dann den Kompressor ausser Funktion, schliesst die grossen Absperrentile, öffnet das Druckausgleichventilchen, um die im Cylinder befindlichen Gase nach dem Verdampfer zu führen, so dass dadurch in den Kompressor ein nur dem Verdampfer gleicher Druck vorhanden ist. Es kann dann zum Öffnen des Kompressors geschritten werden, ohne das lästige Absorbieren der Gase durch Wasser nöthig zu haben, und ohne wesentlichen Verlust an Gasen.

Tauchkon-
densator.

Bei den in Fig. 141 abgebildeten Tauchkondensatoren ist ein cylindrischer Mantel angebracht, in dem sich mehrere Schlangensysteme, umgeben vom Kühlwasser, befinden, in denen sich die Kondensation vollzieht. Das komprimierte Dampfgemisch tritt oben ein; und die gebildete Flüssigkeit sammelt sich unten an. Das Kühlwasser verfolgt den umgekehrten Lauf. Ein mechanischer Rührer bewirkt die Circulation und begünstigt die Wärme-transmission durch die Schlangenrohroberflächen.

Es ist vortheilhaft, den Temperaturunterschied zwischen dem zu-strömenden Wasser und der Temperatur des verflüssigten Dampfes auf ein Minimum herabzubringen. Wenn man sehr kaltes Kondensationswasser benutzt, kann man sich begnügen, diesen Unterschied etwas grösser werden zu lassen, um den Verbrauch der Kühlwassermenge zu verringern und die Kondensatoren etwas kleiner zu machen. In warmen Klimaten, wo das Kühlwasser wärmer ist, sollte der Temperaturunterschied ganz minimal

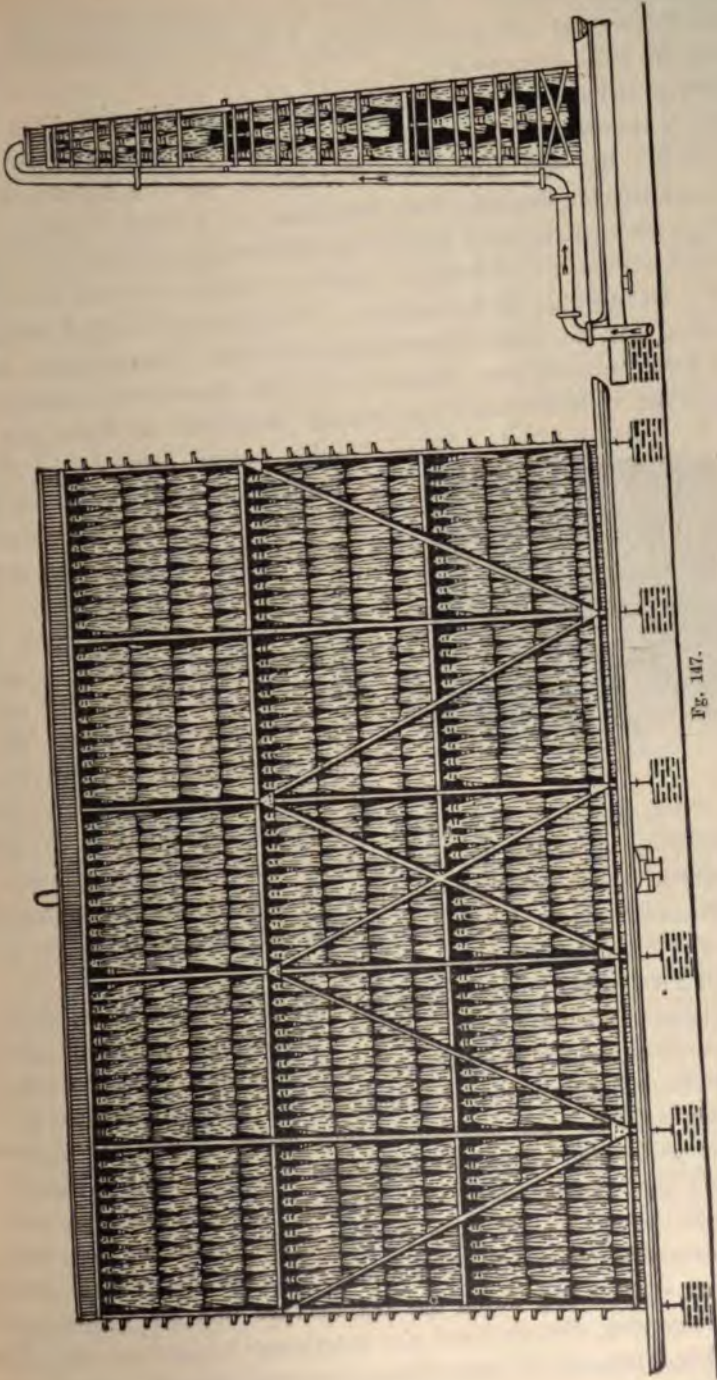


Fig. 147.

sein. Die Kondensatoren sollen dort also möglichst gross sein. Der Temperaturunterschied soll wenn möglich 1 Grad sein, jedenfalls aber 5 Grad in keinem Falle übersteigen.

Leistung
von Kon-
densatoren.

Man rechnet bei Ammoniaktauchkondensatoren auf den Quadratmeter Rohroberfläche eine stündliche Wärmetransmission von 1200 W. E. Bei den Münchener Versuchen war die Kondensatorleistung pro Quadratmeter äusserer Rohroberfläche bei 2 Grad Temperaturdifferenz zwischen Ammoniak Eintritt (21,5°) und Wasserablauf (19,6°) $\sim 4,5$ kg Ammoniak Kondensation ~ 1400 W. E. Daraus berechnet sich für jeden einzelnen Fall die Grösse der Kondensatoren. Wenn man wenig Kühlwasser zur Verfügung hat, so wendet man häufig dasselbe Wasser immer wieder an, indem man es nach dem Austritt aus dem Kondensator durch einfache Verdunstung in Reservoiren von grosser Oberfläche an freier Luft abkühlt,

oder indem man es in Regenform herabfallen und durch einen Strom frischer Luft dabei bestreichen lässt. Man braucht dann nur so viel Wasser zu ersetzen, wie verdunstet ist.

Dabei sei verwiesen auf die Wasserrückkühlanlagen von Jacob Rohleder in Barmen, die in Fig. 147 und 148 abgebildet sind. Die Apparate sind ausser den mit Draht gebundenen Besen ganz aus Eisen hergestellt.



Wasser-
Rückkühler-
von Rohleder
in Barmen.

Fig. 1

Sie bestehen aus einer beliebigen Anzahl von Stockwerken, deren jeweilige Grundfläche ein Auffang- und Vertheilungsbecken trägt, und in einem breiten Auffangbecken, von Eisenblech oder von Stein gemauert, als Hauptsammelbecken des gekühlten Wassers, endigt, so wie es die Oertlichkeit und der Zweck anzulegen erlaubt.

Den First des Apparatgestells bekrönt ein Wasservertheilungsbecken, unter welches reihenartig unter einander angeordnete mit Draht gebundene Besen eingehängt sind, auf welche das zu kühlende Wasser durch eigenartige, stellbare Zuführungen gleichmässig fein vertheilt, dünnstrahlig aber tropfenartig aufläuft. Die ausserordentlich grosse Menge der Besenzweige ermöglicht auch eine ungewöhnlich feine Tropfen- und Wasserführung, bei welcher das Wasser durch die Becken jedes Stockwerks erneut gesammelt und immer wieder über die Besenreihen fein vertheilt wird, der Luft so einerseits einen vielseitigen Angriffspunkt der Verdunstungskälte bietend, um andererseits durch das Besengefüge und die mehrfach hintereinander liegenden Besenreihen ein mögliches Verspritzen des Wassers durch starken Wind, also Wasserverluste sicher zu verhüten. Eine Leistungstabelle eines solchen Apparats sei hier angefügt.

Resultate des Kühlapparates bei einer resp. zwei Ammoniak-
Kompressionsmaschinen
vom 12. bis 22. Juli 1892.

Tag	Stunde	Luft- temperatur im Schatten °C.	Zum Apparat °C.	Vom Apparat °C.	Atm. Druck	Wetter	Maschinen
12. 7.	2 N.	25	21	14 ¹ / ₂	9	Schön	1 Maschine
12. 7.	10 N.	17 ¹ / ₂	20	13	8 ¹ / ₂	"	1 "
13. 7.	7 V.	16 ¹ / ₄	18	12	8	Schön m. Wind	1 "
13. 7.	2 N.	21 ¹ / ₄	19	13 ¹ / ₂	8 ³ / ₄	"	1 "
13. 7.	10 N.	16 ¹ / ₄	20	13	9	Bewölkt	1 "
14. 7.	7 V.	13 ³ / ₄	17	10	8 ³ / ₄	Regen	2 Maschinen
14. 7.	2 N.	15	18	10	8 ³ / ₄	"	2 "
14. 7.	10 N.	18 ³ / ₄	19	13 ¹ / ₂	8 ³ / ₄	"	2 "
15. 7.	7 V.	16 ¹ / ₄	19	11	9	Bewölkt	2 "
15. 7.	2 N.	20	19	13	8 ¹ / ₄	Schön	1 Maschine
15. 7.	10 N.	15	16	11	7 ³ / ₄	Bewölkt	1 "
16. 7.	7 V.	15	16	11	7 ³ / ₄	Regen	1 "
16. 7.	2 N.	16 ¹ / ₄	18	12	8 ¹ / ₄	"	1 "
16. 7.	10 N.	15	16	11	7 ³ / ₄	"	1 "
17. 7.	7 V.	13 ³ / ₄	16	9 ¹ / ₂	7 ¹ / ₄	Bewölkt	1 "
17. 7.	2 N.	16 ¹ / ₄	15	10	7 ¹ / ₂	"	1 "
17. 7.	10 N.	13 ³ / ₄	16	11	7 ³ / ₄	Schön	1 "
18. 7.	7 V.	11 ¹ / ₄	14	9	7 ¹ / ₄	Ziemlich klar	1 "
18. 7.	2 N.	17 ¹ / ₂	15	11	7 ³ / ₄	Schön	1 "
18. 7.	10 N.	13 ³ / ₄	16	9 ¹ / ₂	7 ¹ / ₄	Regen	1 "
19. 7.	7 V.	13 ³ / ₄	15	10	7 ¹ / ₂	Bewölkt	1 "
19. 7.	2 N.	21 ¹ / ₄	17	12	8 ¹ / ₄	"	1 "
19. 7.	10 N.	13 ³ / ₄	16	10 ¹ / ₂	7 ³ / ₄	"	1 "
20. 7.	7 V.	13 ³ / ₄	15	10 ¹ / ₂	7 ³ / ₄	"	1 "
20. 7.	2 N.	16 ¹ / ₄	18	11 ¹ / ₂	8 ¹ / ₄	"	1 "
20. 7.	10 N.	13 ³ / ₄	15	10	7 ³ / ₄	"	1 "
21. 7.	7 V.	15	15	10	7 ³ / ₄	"	1 "
21. 7.	2 N.	17 ¹ / ₂	16	11	8	"	1 "
21. 7.	10 N.	11 ¹ / ₄	16	9 ¹ / ₂	7 ³ / ₄	Schön	1 "
22. 7.	7 V.	15	16	10	8	"	1 "
22. 7.	2 N.	22 ¹ / ₂	19	13	8 ³ / ₄	"	1 "
22. 7.	10 N.	15	18	12	8 ¹ / ₂	"	1 "
		516 ¹ / ₄ C.	544 C.	358 C.	259	getheilt durch 32 ergibt also durchschnittlich:	
		16 ¹ / ₈ C.	17 C.	11,2 C.	8 Atm.		

Resultate
des Kühl-
apparates
von
Rohleder.

Der Wasserverlust ist 5 bis 10 Proz., der immer neu zu er-
setzen ist.

Die Firma Klein, Schanzlin & Becker in Frankenthal a. Rh. macht
ähnliche Reisergradirwerke, ferner Latten- oder Röhren- und Ventilator-

Wasser-
Rückkühler
von Klein-
Schanzlin &
Becker.

gradirwerke, die in den Fig. 149 und 150 abgebildet sind. Bei ersteren sind die Kühlflächen entweder Latten, Platten oder Röhren. Es werden



Fig. 149.

auch solche mit offenen Kühlwasserbassins und solche mit allseitig geschlossenen Kühlwasserbehältern gemacht. In diesen können die Kühlflächen aus Platten oder Röhren bestehen, in den geschlossenen Kühlwasserbehältern sind nur Röhren als Kühlflächen anwendbar. Wie man

ehrt, können diese gleich als Oberflächen-Berieselungskondensatoren ausgeführt werden.

Letztere sind ähnlich konstruirt, aber gleichzeitig mit mechanisch angetriebenem Ventilator versehen.

Die Fig. 151 zeigt einen Berieselungskondensator der Maschinenfabrik Augsburg in der Form, wie sie jetzt meistens von dieser Fabrik ausgeführt werden. Der Kühlwasserverbrauch ist bei diesen Apparaten sehr gering, weil stets nur das verdunstete Wasser, etwa 5 Proz., durch frisches Wasser zu ersetzen ist. Das übrige Wasser wird immer wieder verwendet. Aber da dieses der Natur der Sache nach im Sommer wärmer ist, als das frische Wasser, weil es im günstigsten Falle auf die Lufttemperatur herabsinkt, so wird auch das durch die Röhren streichende Ammoniak im Allgemeinen eine höhere Temperatur, und daher höhere Spannung erhalten, als im Tauchkondensator. Dazu kommt, dass im Berieselungskondensator keine Gegenströmung vorhanden ist, weil das Ammoniak an derselben Seite, d. h. oben, eintritt, wie das Kühlwasser. Der Austritt beider ist unten, und daher wird auch dadurch Temperatur und Spannung höher, als bei Tauchkondensatoren.

In Folge der stark zunehmenden Spannung des Ammoniaks bei geringer Temperaturzunahme steigt der Arbeitsverbrauch des Kompressors erheblich, da er auf die höhere Spannung zu komprimiren hat. 5 Grad höhere Temperatur machen schon $1\frac{1}{2}$ Atmosphären höhere Spannung aus; 10 Grad, die vielfach schon vorhanden sind, geben 3 Atmosphären höhere Spannung. Es besteht also der mehrfach erwähnte Uebelstand, dass Kühlwasserersparung auf Kosten grösseren Arbeits- d. h. Kohlenverbrauchs geht. Gewöhnlich rechnet man bei Berieselungskon-

Berieselungskondensator der Maschinenfabrik Augsburg.

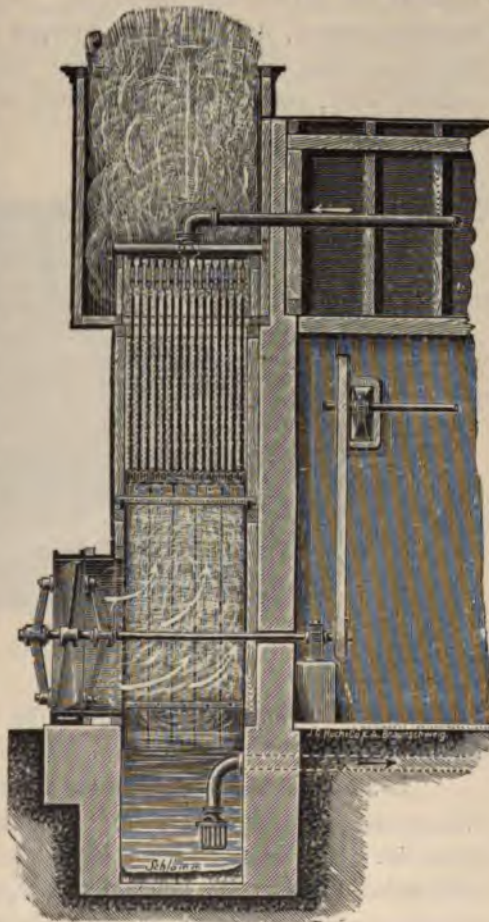


Fig. 150.

Leistung
von Berie-
selungs-
konden-
satoren.

densatoren auf 1 Quadratmeter Oberfläche stündliche Wärme-
transmission von 800 W.E., d. h. die Oberfläche des Berieselungskon-
densators ist um die Hälfte grösser zu wählen als diejenige des Tauch-
kondensators.

Linde's
Scheiben-
apparat für
Luft-
kühlung.

Aehnliche Einrichtungen trifft man für bestimmte Zwecke zuweilen
auch bei den Refrigeratoren. In Fig. 152 ist ein solcher Linde'scher
Apparat für Luftkühlung abgebildet. Die abzukühlende Luft passirt einen
Scheibenapparat, der aus einem grossen Behälter besteht, angefüllt mit dem
Salzwasser, das durch Verdampfung von Ammoniak in Rohrschlangen ab-
gekühlt wird, analog der Einrichtung in Eiskästen. Das Ammoniak kann

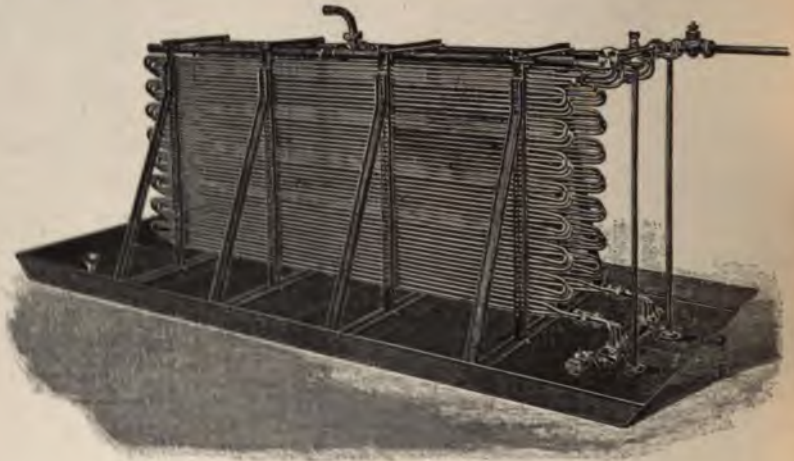


Fig. 151.

auch direkt in den Scheibenapparaten, wenn sehr tiefe Temperaturen ver-
langt werden, verdampfen.

In diese Flüssigkeit tauchen dünne kreisrunde metallische Scheiben
von grossem Durchmesser, und in geringer Entfernung von einander an-
gebracht. Die Scheiben sind befestigt auf mit mässiger Geschwindigkeit
rotirenden Wellen; sie tauchen nur zum Theil mit der unteren Hälfte in
die Flüssigkeit, und sind auf dem oberen Theil mit einer Haube bedeckt,
so dass ein auf einem Ende in den Apparat geleiteter Luftstrom genöthigt
ist, sich zu vertheilen und in dünnen Strömen zwischen die verschiedenen
Scheiben sich zum anderen Ende des Apparates durchzuwinden. Auf diese
Weise wird die Luft einer sehr grossen Kühlfläche ausgesetzt bei nur
geringer Raumbeanspruchung, und diese Oberflächen sind beständig sehr
kalt gehalten, weil sie während ihrer Drehung beständig in das Bad un-
gefrierbarer Flüssigkeit eintauchen. Eine kleine Dampfmaschine oder Trans-
mission

ist einen Ventilator gleichzeitig in Bewegung zum

Durchblasen der Luft durch die von ihr ebenfalls angetriebenen Scheibenachsen, und ebenso eine Rotationspumpe zur Circulation der ungefrierbaren Flüssigkeit.

Eine Modifikation dieses Apparates besteht in Ersatz der Scheiben durch Cylinder aus perforirtem Blech, die sich um ihre Welle drehen und dabei einen feinen Regen der mitgenommenen kalten Flüssigkeit herabfallen lassen, durch den der Luftstrom streicht.

Luftkühl-
apparat mit
rollenden
Cylindern.

Diese verschiedenen Apparate sind sehr wirksam und bringen den Unterschied der Temperatur der abgekühlten Luft und der Temperatur des Ammoniaks am Ausgang des Kühlapparates auf ein Minimum herab.

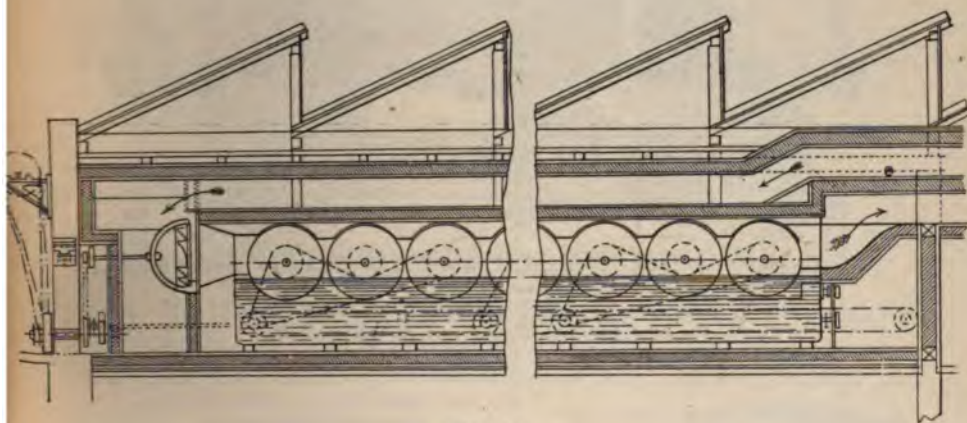


Fig. 152.

Der Unterschied zwischen der Lufttemperatur beim Verlassen des Kühlapparates und der Temperatur des Salzwassers beträgt gewöhnlich nur $\frac{1}{2}$ bis höchstens 1 Grad C. Der Unterschied zwischen der Eintritts- und Austrittstemperatur der Luft ist etwa 3 bis 5 Grad C.

Diese Apparate haben manchmal eine Unannehmlichkeit, darin bestehend, dass die in das sehr kalte Salzwasser eintretende Luft einen Theil ihrer Feuchtigkeit verliert, die von dem Salzwasser aufgenommen wird. Daraus folgt, dass das Wasservolumen in dem Behälter nach und nach grösser, und dass die Lösung schwächer wird. Wenn man darauf nicht achtet, so kann es vorkommen, dass sich Eis an den Schlangenröhren absetzt, besonders wenn der Saugdruck verringert wird. Um dies zu vermeiden, muss man Sorge tragen, den Dichtigkeitsgrad der Lösung konstant zu erhalten, sei es durch Ablassen eines Theiles der Lösung und Zusetzen von Salz, sei es durch Erhitzung eines Theiles der Lösung ausserhalb des Behälters. Die täglich verdampfte Flüssigkeitsmenge muss dann gleich der täglich aufgenommenen sein.

Wenn die zu erzielenden Temperaturen sehr niedrig sind, so wird es schwer, das Ansetzen von Eis an die Röhren ganz zu vermeiden, denn die Lösung müsste dann immer sehr konzentriert sein.

Fixary's
Luftkühl-
apparat.

Das System Fixary beruht auf Anwendung eines Kühlers, der aus Rohrschlangen geringen Durchmessers besteht, in denen das Ammoniak verdampft. Er wird im Allgemeinen aus zwei oder drei solchen Schlangensystemen gebildet, in denen die durch einen Ventilator mit einer Geschwindigkeit von 6 bis 7 m pro Sekunde eingeblasene Luft circulirt (Fig. 153).

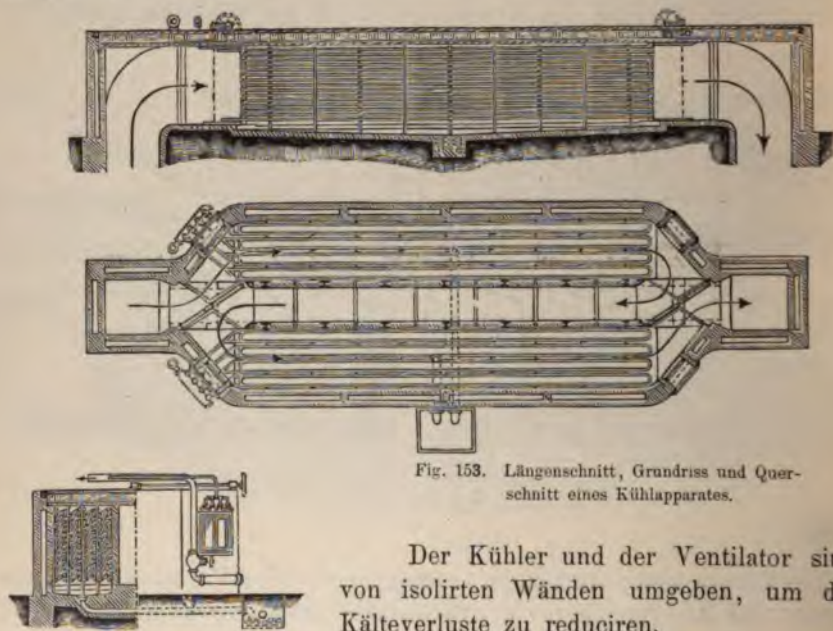


Fig. 153. Längenschnitt, Grundriss und Querschnitt eines Kühlapparates.

Der Kühler und der Ventilator sind von isolirten Wänden umgeben, um die Kälteverluste zu reduciren.

Nach einer gewissen Zeit beginnen die Röhren der ersten Abtheilung zu befrieren, während die anderen frei bleiben. Man wechselt dann die Richtung des Luftstromes, bis alle Röhren gleichmässig mit Eis bedeckt sind. Wenn das Eis so dick ist, dass es genirt, so beginnt man mit dem Abthauen. Zu dem Zwecke lässt man entweder warme Luft (Aussenluft) circuliren unter Absperrung des Ammoniaks in die Röhren; oder man lässt in die Röhren flüssiges und daher warmes Ammoniak aus dem Kondensator eintreten, nachdem man die Verbindung mit dem Refrigerator geschlossen hat; oder endlich, man thut beides.

Das Abthauen vollzieht sich gewöhnlich in weniger als einer Stunde. Das Schmelzwasser läuft über Zinkbleche und sammelt sich unten im Apparat, von wo es durch einen Hahn abgelassen wird.

Die Fixary-Apparate werden manchmal mit der Aenderung angewendet, dass in den Schlangen Salzwasser statt Ammoniak circulirt, um

schädliche Folgen zu vermeiden, welche durch Entweichen von Ammoniak in die zu kühlende Luft entstehen würden. Diese Aenderung nimmt namentlich Linde in Schiffskältemaschinen vor.

Die in den Kühlern von Linde oder Fixary abgekühlte Luft wird den Kühlräumen durch sorgfältig isolirte Rohrleitungen wieder zugeführt.



Fig. 154.

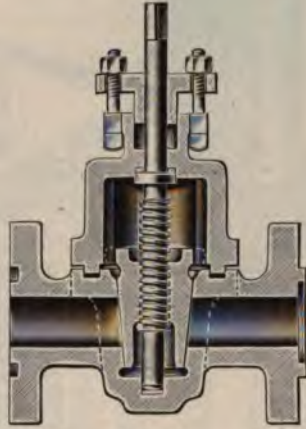


Fig. 155.

Dieselben sind mit Schiebern oder regulirbaren Oeffnungen ausgestattet, um die Kältegrade in den verschiedenen Kühlräumen reguliren zu können.

Von Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover folgen einige Ab-



Fig. 156.

bildungen von Armaturen für Ammoniakmaschinen, Fig. 154, ein Hahn mit Stopfbüchse, und mit durch Kappe nach aussen abgedichteter Anzugschraube, ganz in Eisen, ferner Fig. 155, ein Pflockhahn, ebenfalls in Eisen.

Armaturen an Ammoniakmaschinen von Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover.

Fig. 156 stellt einen Glashalter dar für Ammoniakstandzeiger, ohne Absperrhahn, Fig. 157 einen Indikator von derselben Firma nur aus Eisen und Stahl, die sich gut bewährt haben, sowie Fig. 158 ein Manometer von Schäffer & Budenberg in Magdeburg für Ammoniak, ganz von Eisen und Stahl und sowohl mit Druckskala, wie mit Temperaturskala versehen.

Vortheilhafte Apparate zur Reinigung der Verdampferspiralen werden von Balduin Weisser in Basel angefertigt, auf welche hinzuweisen ist. Fig. 159 zeigt einen automatischen Salzlöser, der vor dem Generator in die Salzleitung eingeschaltet ist. Er besteht aus einem Blechkasten *A*, welcher durch eine Blechwand *B* in zwei ungleiche Theile geschieden wird, und dessen grössere Abtheilung den Salzlöser, die kleinere den

Weisser's Reinigungsapparate für Verdampfungsspiralen.

Filter bildet. In der grösseren Abtheilung befindet sich ein aus Gitterblechen *b* hergestellter, mit einem Blechboden *d* versehener Behälter zur Aufnahme des Salzes.

Die Gitterbleche *b* sind durch Winkleisen verbunden. Der Blechboden *d* liegt auf einem Winkleisenrahmen, welcher in einiger Entfernung über dem Boden des Blechkastens *A* mit dem Gitterbleche verschränkt ist, so dass unter demselben freier Durchfluss der Soole stattfinden kann.

Zum gleichen Zweck hat die Blechwand *B* in einem Abstand vom Boden einen Durchgang *e*, durch welchen die Salzlösung zum Filter und durch denselben in das Ablaufrohr *h* und zum Generator fließen kann. Auf der Blechwand *B* und dem Kasten

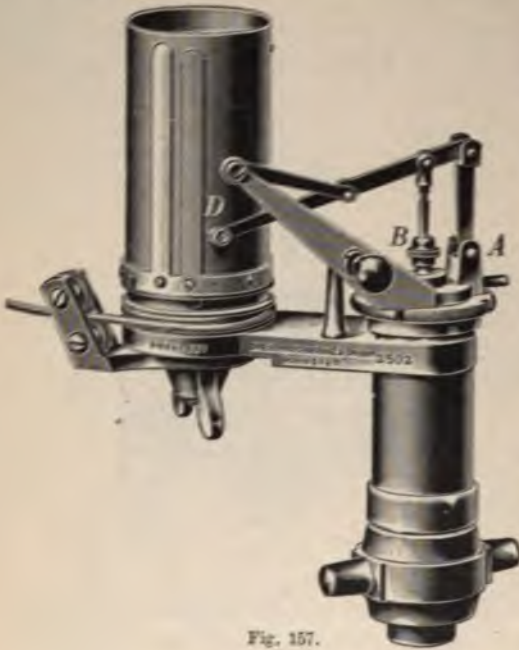


Fig. 157.



Fig. 158.

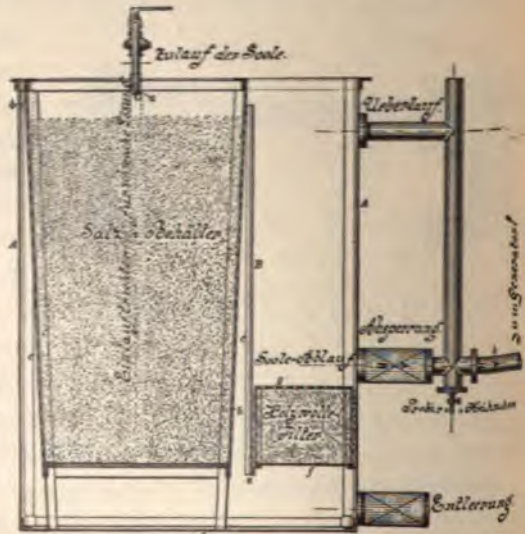


Fig. 159.

A ist ein Winkleisenrahmen genietet, welcher zur Auflage einer Gitterblechplatte *f* dient, worauf der Filterstoff zu liegen kommt. Um ein Auf-

über denselben zu vermeiden, wird er mit einer leicht abnehmbaren Gitterblechplatte *g* beschwert und mit dem Winkeleisenrahmen verschraubt.

Die Betriebsweise ist eine kontinuierliche, so dass von der Druckleitung der Soolepumpe ein Abzweig mit zwei Regulirhähnen versehen nach dem Apparat führt, um entweder bei dem Einlauf *a* die Soole direkt auf das Salz zu leiten, wo dasselbe sowohl an seiner Oberfläche, als auch an den Seitenwänden bei *c* durch die Gitterbleche hindurch von der Soole bespült wird. Oder man lässt die Soole durch einen Trichter, welcher zwischen Salzbehälter und Reservoirwand eingeführt ist, fließen. Letztere Anordnung wird gewöhnlich für den Betrieb angewendet.

Durch diese sorgsame Filtration des Salzes erzielt man gute Reinigung der Verdampferspiralen von aussen und der Kühlrohrsysteme von innen.

Die Frick Company in Waynesboro (Pennsylvania, Nordamerika), baut einfachwirkende vertikale Kompressoren, die in der Art der De la Vergne Co. von liegender Corlissdampfmaschine angetrieben werden. Der Kompressor Fig. 160 ist von Kühlwasser umgeben, um Ueberhitzung des Ammoniaks zu vermeiden. Im Uebrigen ist er nach der Beschreibung des De la Vergne-Kompressors ohne Weiteres zu verstehen. Die Stopfbüchse wird mittels conischer Räder und Handkurbel festgeschraubt.

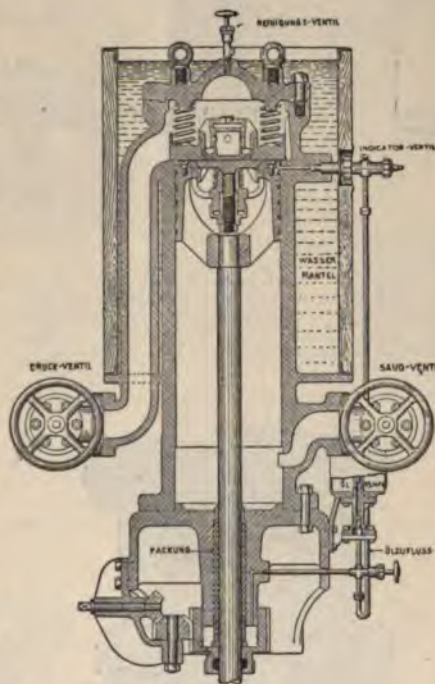


Fig. 160.

Vertikale Kompressoren der Frick Company.

Es wird nicht ohne Interesse sein, in den Fig. 161 bis 175 einige Abbildungen von Armaturen beizufügen, als Ammoniakrohre, Verbindungen, Ventile, Salzwasserfilter, Salzwasserverbindungen, die alle leicht verständlich sind, aber dem deutschen Konstrukteur Anregungen bieten.

Rohrverbindungen der Frick Company.

Fig. 176 zeigt den Durchschnitt eines liegenden doppelwirkenden Kompressors mit Wassermantel der Vulcan-Iron-Works in San Francisco (Cal., Nordamerika), während Fig. 177 darstellt, wie von dieser Fabrik kleine Kompressoren in vertikaler Konstruktion geliefert werden. Diese sind einfachwirkend, mit Antrieb in geschlossenem Raume. Aehnliche Anordnung ist hier schon besprochen.

Kompressoren der Vulcan Iron Works.

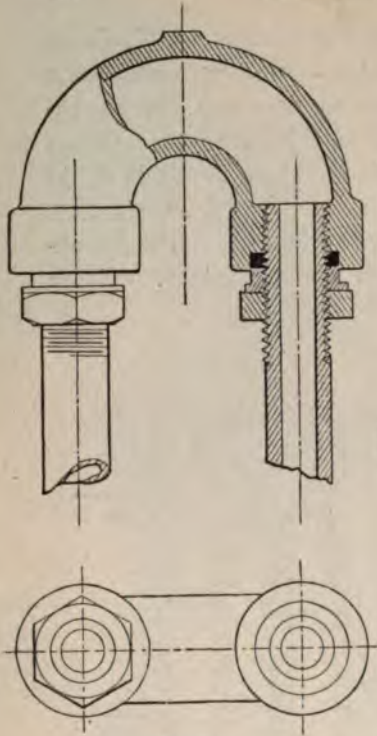


Fig. 161.

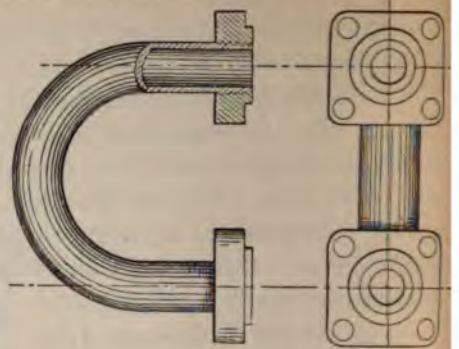


Fig. 162.

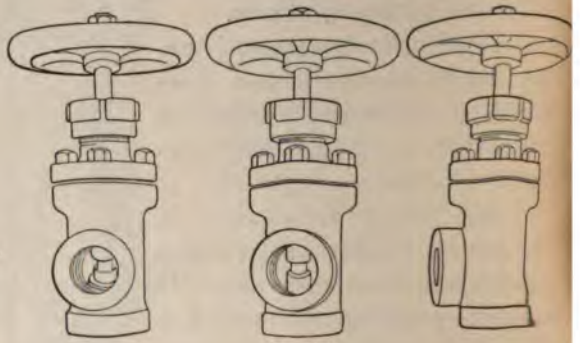


Fig. 163.



Fig. 164.

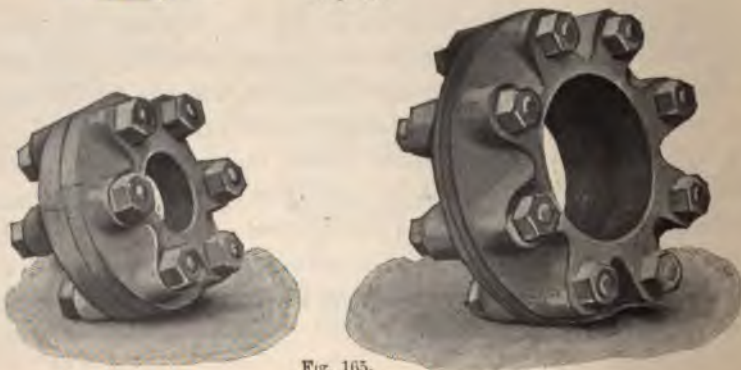


Fig. 165.

Auch hier zeigen die Fig. 178 bis 181 die Ammoniakrohrverbindungen dieser Fabrik, und die Fig. 182 einen Berieselungskondensator.

Bohr-
ver-
bindungen
und Be-
rieselungs-
kondensator
der Vulcan
Iron Works.

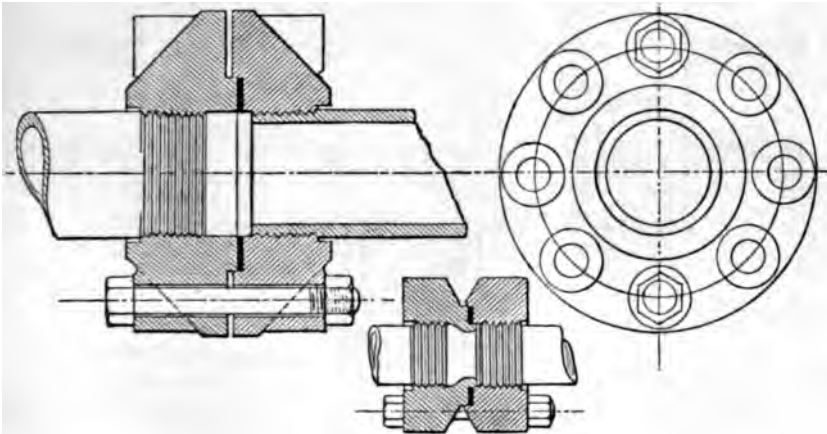


Fig. 166.

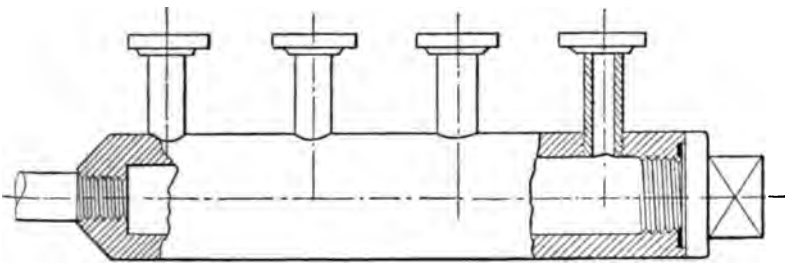


Fig. 167.

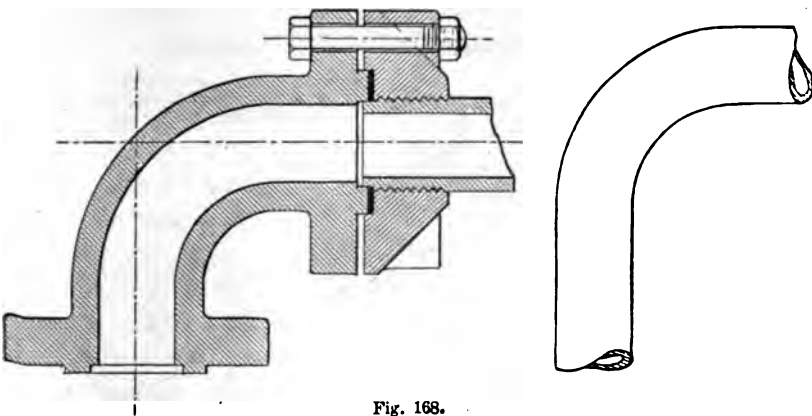


Fig. 168.

Während in Deutschland die Rohre geschweisst, und Schraubverbindungen möglichst vermieden werden, erkennt man aus den Abbildungen, dass in Amerika fast nur gerade Röhren und zahlreiche Verschraubungen

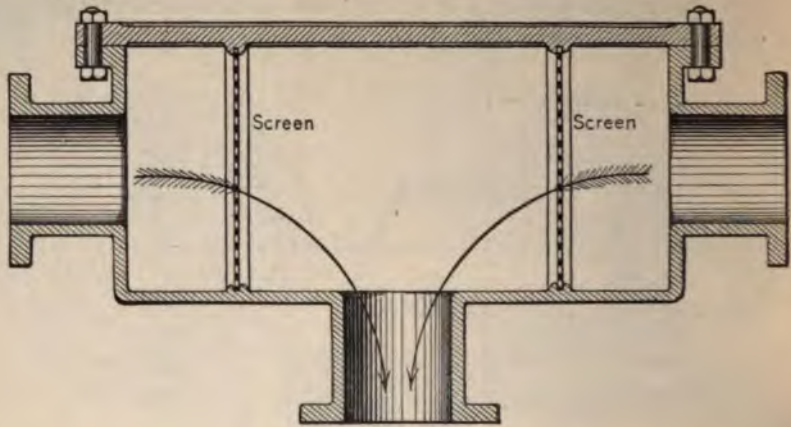


Fig. 169.

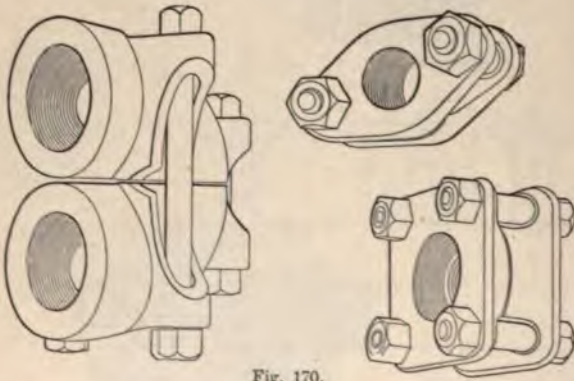


Fig. 170.

Rohrver-
bindungen
der Fred.
W. Wolf
Company.

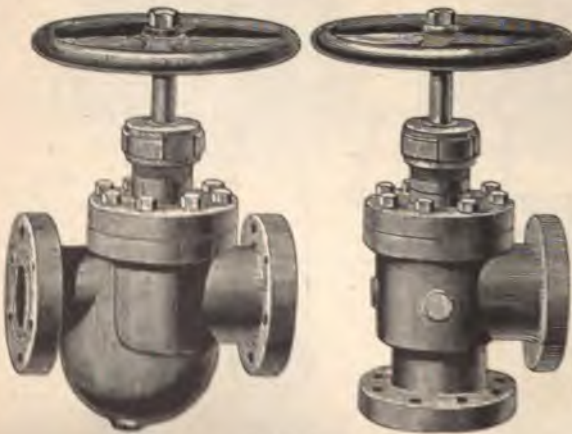


Fig. 171.

Konden-
satoren der
Fred.
W. Wolf
Company.

Verwendung finden. Man ist hier ängstlich besorgt, Entweichungen des Kältemittels (Ammoniak, schweflige Säure, Kohlensäure) zu vermeiden, und erlangt auch durch die Vermeidung der Verschraubungen billigere Herstellung der Anlagen.

Von der Fred. W. Wolf Company in Chicago, welche in Amerika die Linde-Maschinen baut, stellt Fig. 183 eine Kupplung von Ammoniakröhren dar, die aus Stahl gemacht ist. Bei B ist die Abdichtung.

Fig. 184 zeigt dieselbe Rohrverbindung für Krümmer, angewandt bei den Ammoniakcondensatoren

dieser Firma. Ein solcher grosser Condensator ist in Fig. 185 abgebildet. Dieselben werden aus zweizölligen Röhren hergestellt, welche mit dem

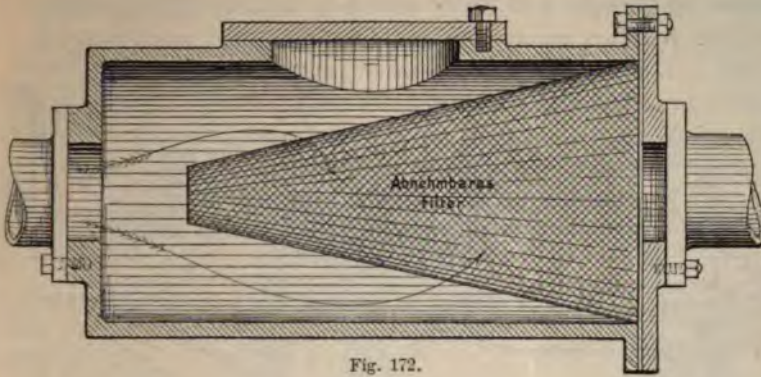


Fig. 172.

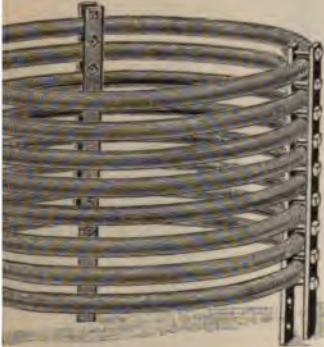


Fig. 173.

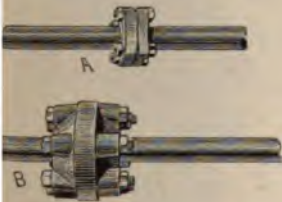


Fig. 174.

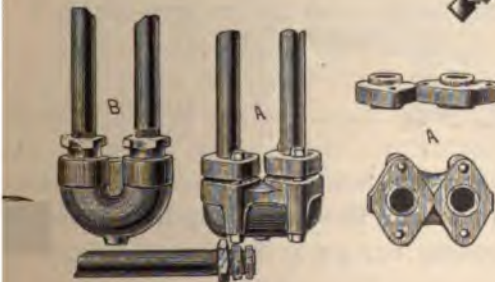


Fig. 175.

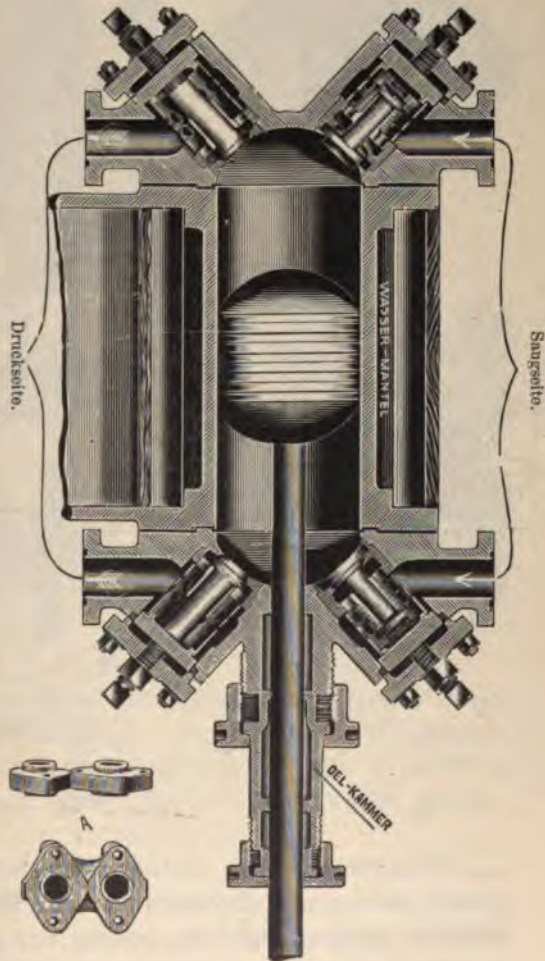
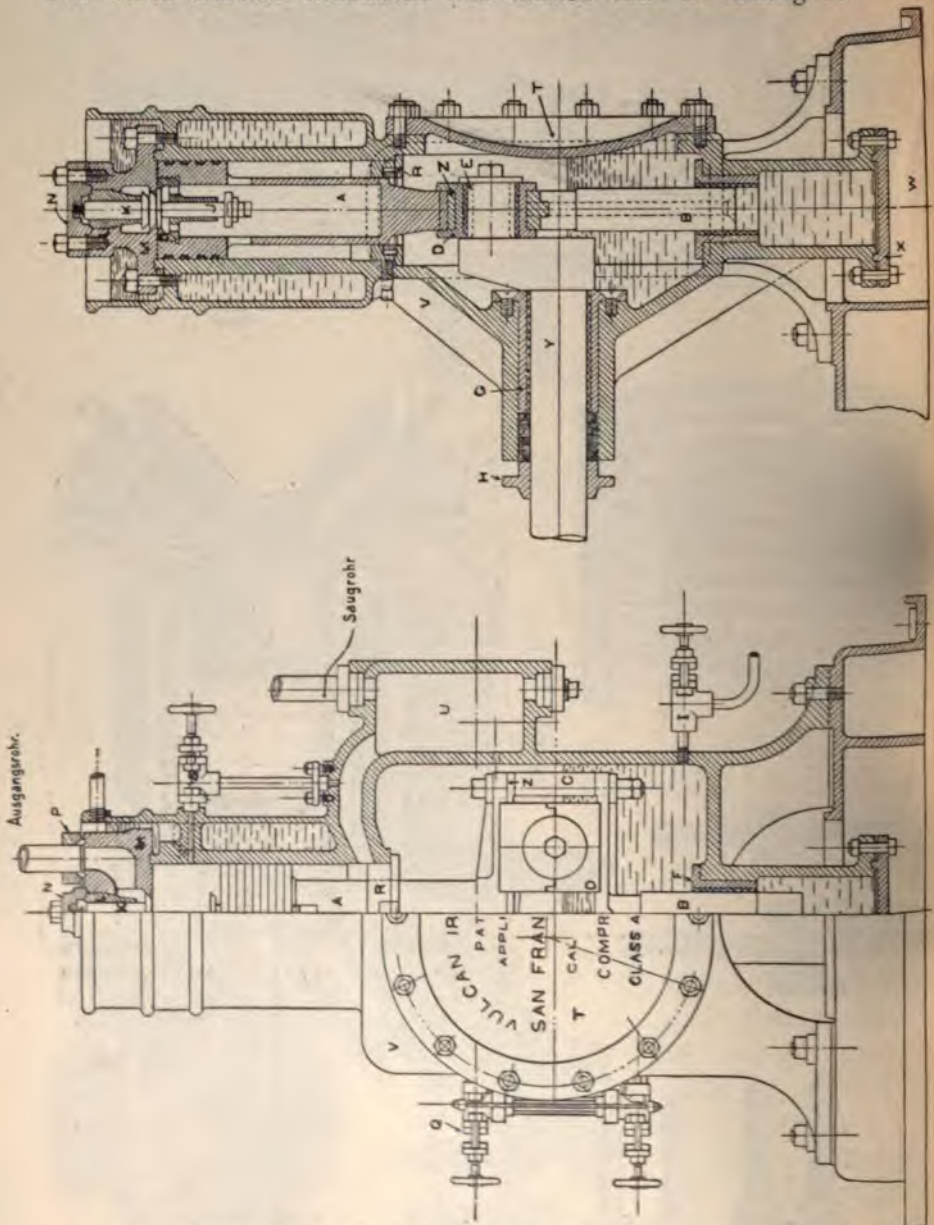


Fig. 176.

Krümmen verschraubt und heiss verlöthet werden. Die Krümmen ziehen sich durch Erkalten zusammen und dichten dann zuverlässig ab.



Die verschiedenen Kondensatorsysteme werden neben einander aufgestellt, mit einem Zwischenraum zur Begehung und Reinigung, deren jedes mit Absperrhähnen versehen ist, um es bei Bedarf ausschalten zu können.

Die Fig. 186 bis 188 stellen noch drei Ammoniakabschlussventile derselben Firma dar.

Abschlussventile der Fred. W. Wolf Company.

Schliesslich wird noch interessant sein die Abbildung Fig. 189 eines Bierkühlers, dessen Röhren mit kalten Ammoniakdämpfen durchstrichen werden zur Abkühlung des darüber tropfenden Bieres. Nach Belieben kann man auch kalte Salzsoole durchleiten. Die Röhren sind von Stahl.

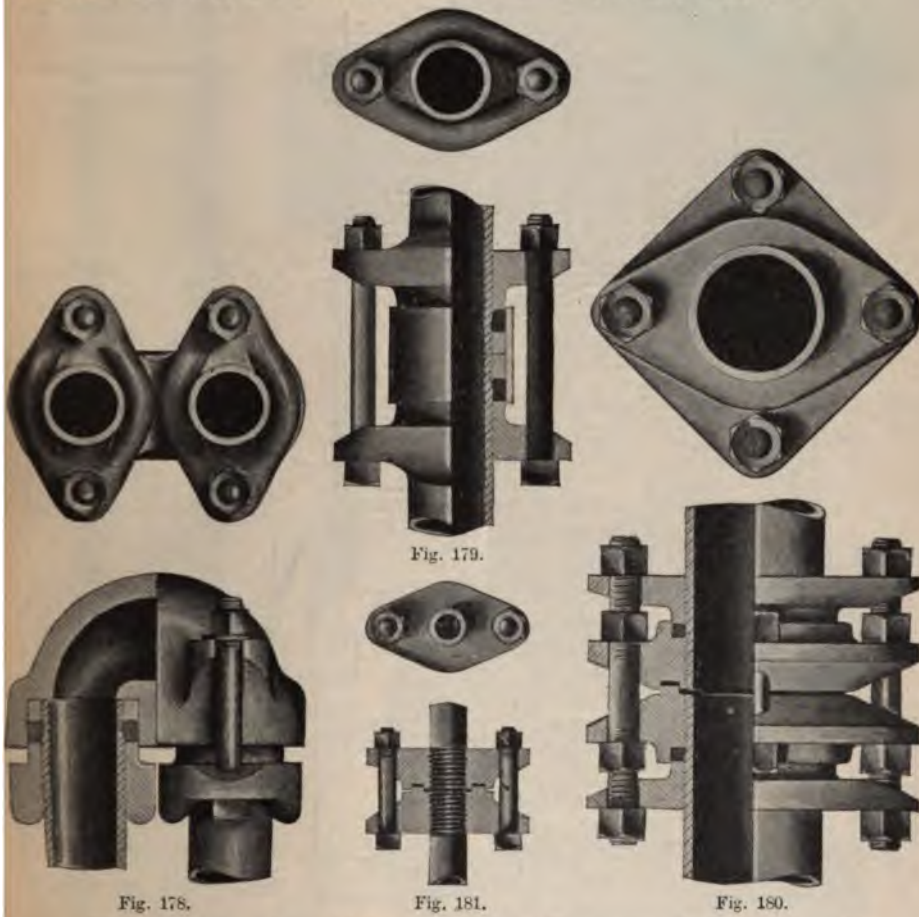


Fig. 178.

Fig. 181.

Fig. 180.

Fig. 190 zeigt die Abbildung eines sehr grossen Kompressors dieser Firma, dessen starke Konstruktion interessirt. Der abgebildete Kompressor ist von einer Maschine, welche 225 Tons Eiskapazität besitzt, d. h. 10000 kg Eiskapazität pro Stunde, oder nach unserer Rechnung eine Million Wärmeinheiten, oder so viel wie drei der Nr. 18 von Linde.

Grosser Kompressor der Fred. W. Wolf Company.

Nachdem ich oben hervorgehoben, welche Nachteile bei Verdampfungs-maschinen vorhanden sind, welche mit Verdampfungskörpern mit höher liegendem Siedepunkte als Ammoniak diesem gegenüber arbeiten, will ich noch genauer auf die mit wasserfreier schwefliger Säure arbeitenden

Schweflig-
säure-Kom-
pressions-
maschinen
von Pictet.

Maschinen nach dem Patente von Raoul Pictet in Genf eingehen, die von der Compagnie industrielle des Procédés Raoul Pictet in Paris und von Schüchtermann & Krämer in Dortmund ausgeführt werden, und die in Frankreich und überseeischen Ländern sehr stark verbreitet sind, auch seit einiger Zeit in Deutschland starken Eingang finden.

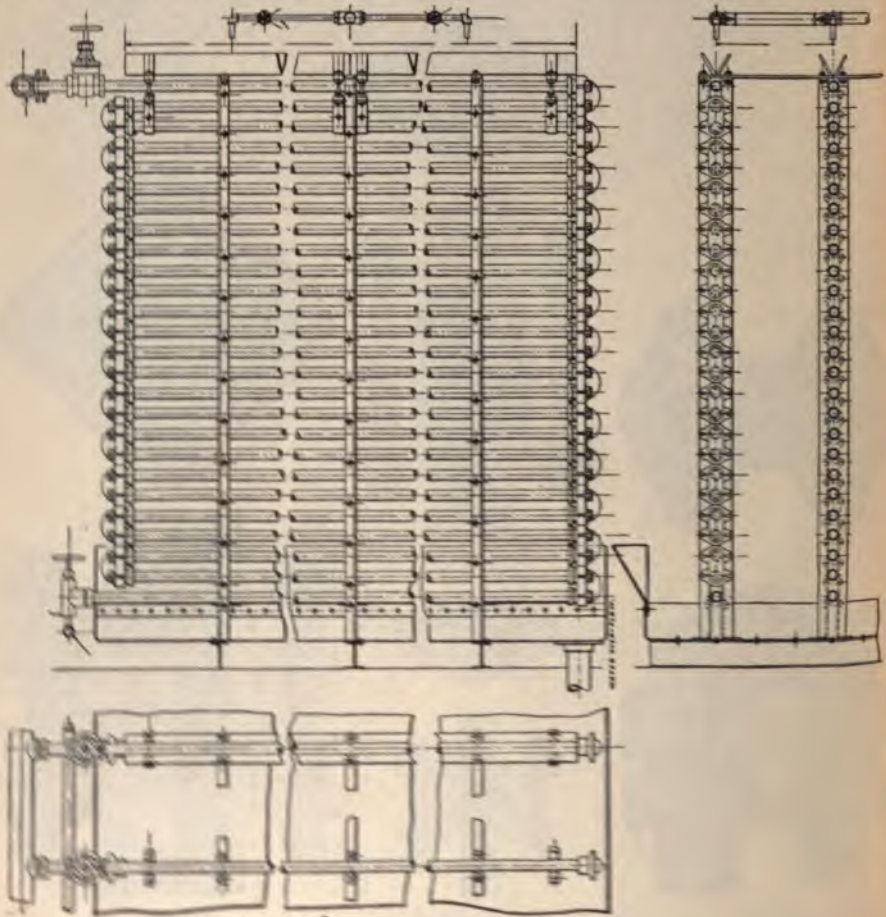


Fig. 182.

Die Pictet'sche Maschine ist wie die Lände'sche eine Verdampfungs-
maschine mit Kompressionspumpe. Sie besteht im Wesentlichen aus der
doppeltwirkenden Pumpe und zwei meistens horizontalen Röhrency lindern,
dem Kondensator und dem Refrigerator. Durch die Röhren wird hier,
im Gegensatz zu den sonst besprochenen Einrichtungen, das Wasser ge-
leitet, um die durch Kondensation der schwefligen Säure frei gewordene
Wärme abzufließen zu lassen. Der Refrigerator dagegen liegt in einem Kasten von
Eisenblech, welcher mit einer schwer gefrierbaren Salzlösung gefüllt ist

und welche auch durch die Röhrenbündel des Refrigerators fließt. In die Salzlösung werden im Falle von Eiserzeugung die mit Wasser gefüllten prismatischen Gefässe zum Gefrieren gehängt. In Fig. 191 ist ein schematischer Durchschnitt dargestellt:

P ist der Kompressor, *a* die Saugventile, *c* die Druckventile, *c*₁ das Druckrohr für die komprimierten Dämpfe, *H* ein Regulirhahn für dieselben, *B* der Kondensator, *M* die Manometer, *F* Ein- und Aus-

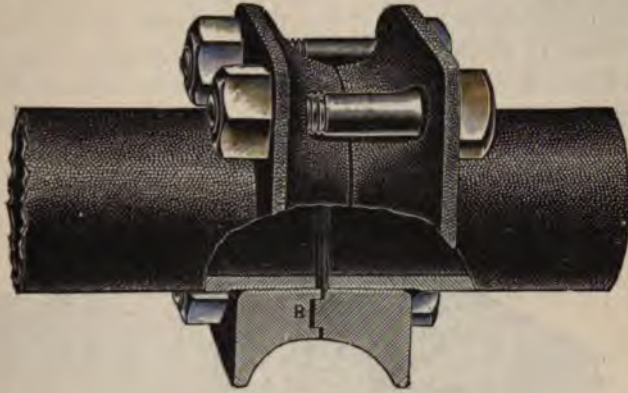


Fig. 183.

lauf für das Kühlwasser, *l* Uebertrittsrohr mit Regulirhahn *D* für flüssige schweflige Säure, *R* Saugkuppel des Verdampfers mit Regulirhahn *G*, *E* die Salzlösung. Der Bau

der Maschinen zeigt folgende Besonderheiten: Der Cylinder ist behufs Kühlung mit einem Wassermantel versehen, der Kolben mit einer grösseren Anzahl von Ringen, in welchem federnde Ringe liegen zur Abdichtung. Der Körper der Ventile ist von Stahl, die Gehäuse von Bronze, die Führung der Ventile so lang, dass ein tiefer Aufschlag nicht erfolgen kann. Durch Federn ist die Stärke des Aufschlags der Ventile zu reguliren. Die Stopfbüchse ist zwar lang aber sehr einfach. Am Grunde befindet sich eine

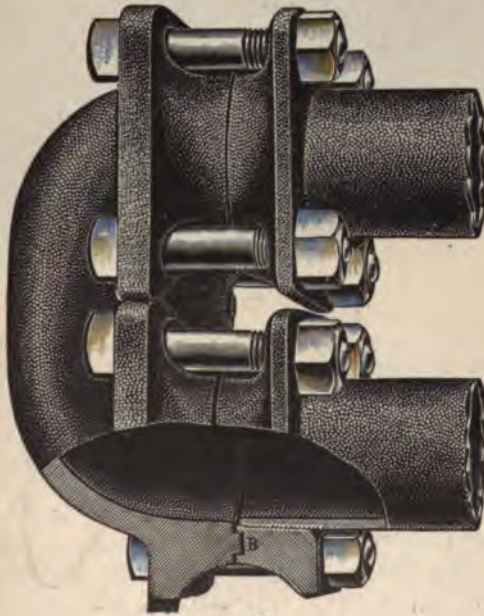


Fig. 184.

Arbeitsvorrichtung aus einer Garnitur metallischer Ringe, die aus Segmenten zusammengesetzt sind, und vor derselben ein geschlossener Ring; darauf kommt eine mit Packung gefüllte Kammer. Die inneren Ringsegmente sind von einem Gummi-

ring umgeben, der sich während der Kompression fest gegen die äussere Wand legt und so das Entweichen von Gas an dieser Stelle verhindert, so dass es nur in den Raum innerhalb der Packung eintreten kann, von wo es bei der Expansion wieder in den Cylinder zurückkehrt. Der Cylinder ist doppelwandig und wird durch einen Strom kalten Wassers gekühlt, ebenso ist die Kolbenstange hohl, und circulirt darin ein Wasserstrom. Das Schmieren des Kompressors ist vollständig abgeschafft, weil die schweflige Säure selbst schlüpfrig ist. Dadurch ist Verunreinigungen des Kompressors und des Kondensators etc. vorgebeugt. Kondensator und Verdampfer be-

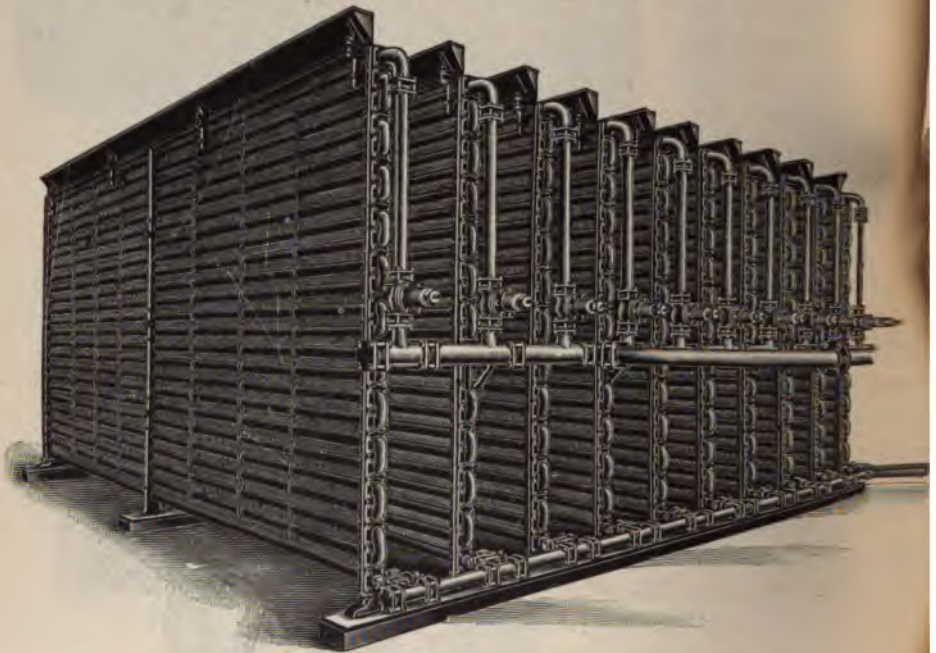


Fig. 185.

stehen aus eingesetzten Rohrbündeln, welche ja freilich nicht unbedingte Garantie für dauerndes Dichthalten bieten. Die schweflige Säure wird in Ballons in flüssigem Zustande angeliefert, von einem Inhalt von 100 kg. Dieselben werden in die Maschine eingeschaltet. Fig. 192 giebt eine Abbildung. Der Verschluss ist hergestellt durch eigenthümlich konstruirte Hähne *B* oder Schraubenventile *C*.

Die Spannungen sind bei der schwefligen Säure verhältnissmässig gering, bei -10° C. hat sie den Atmosphärendruck, bei 0° nur $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Ueberdruck, so dass also die Stopfbüchse während des Saugens wenig Pflichten auf sich hat. Während der Kompression ist der Druck bei $+20^{\circ}$ C. = 3,3, bei $+40^{\circ}$ C. = 6,2 Atmosphären. Pictet hat sich der bekannten Thatsache nicht verschliessen können, dass seine mit wasserfreier

Ballon für
flüssige
schweflige
Säure.

schwefliger Säure arbeitenden Maschinen wesentlich grösser ausfallen, als bei Ammoniak arbeitenden, und dass deshalb stärkere Reibungsverluste zu vorkommen. Er ist andererseits der Meinung gewesen, dass es schätzenswerth sei, die hohen Spannungen des Ammoniaks aus den Maschinen beseitigt zu sehen. Aus diesem Grunde suchte er nach einer andern Flüssigkeit, welche die Nachteile nicht besitze, oder eigentlich die er eine Flüssigkeit, deren Siedepunkt zwischen jenen beiden liege,



Fig. 186.



Fig. 188.

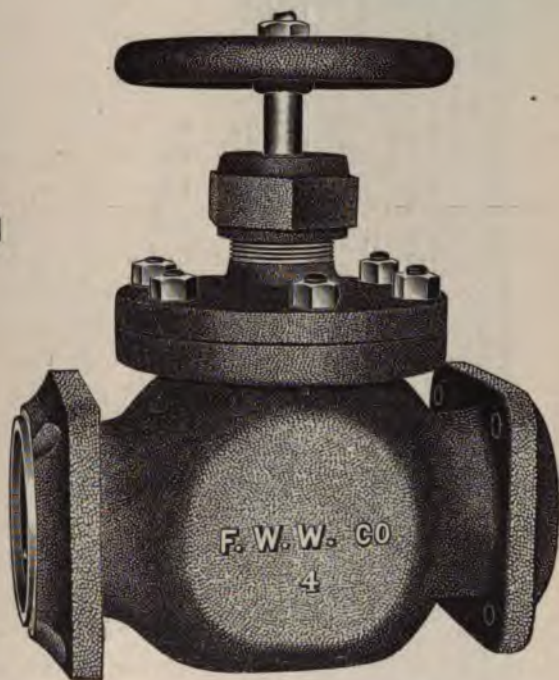
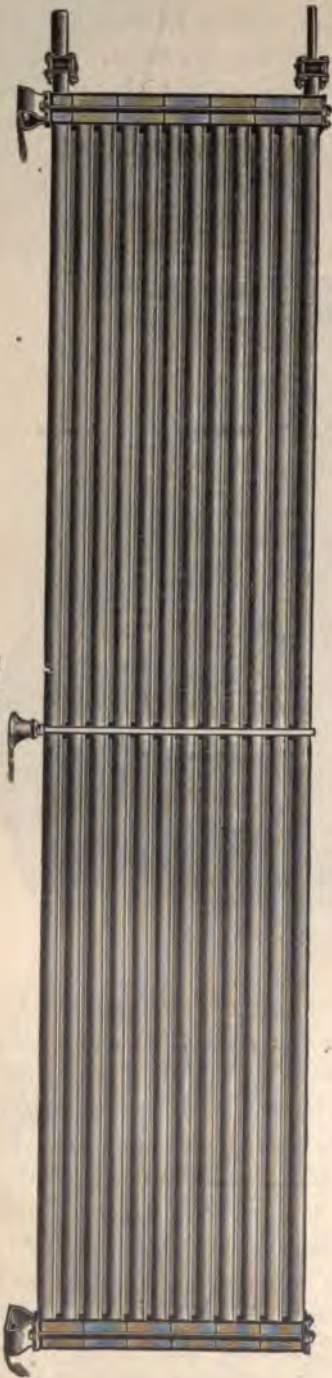


Fig. 187.

dass auch die Kompressionsspannungen niedriger ausfallen, als bei Ammoniak. Er meinte dies in einer Mischung von schwefliger Säure und Kohlensäure zu finden, welche gleichzeitig die Vortheile besitzen sollte, nicht brennbar zu sein, die Metalle nicht anzugreifen und endlich schlüpfrig zu sein, so dass kein Oel zum Schmieren der Maschinen nöthig sei. Er erwartete, wie allerdings zu erwarten, dass je mehr Kohlensäure in der Mischung war, desto niedriger die Siedetemperatur lag, und zwar in Folge der bekannten Thatsache, dass der Siedepunkt der Kohlensäure bei $-68,5^{\circ}$ C. liegt, während schweflige Säure bei -10° C. verdampft. Er stellt nun diese Mischung in solchen Verhältnissen dar, dass sie bei -19° C. siedet und behauptete, dass sich die Spannungen der Mischung nicht in der Weise mit der Aenderung der Temperatur vollziehen, wie es nach den physikalischen

Pictet's
Flüssigkeit.

Fig. 180.



Gesetzen der Fall sein sollte; vielmehr sollen alle Spannungen tiefer liegen, als den Temperaturen entsprechen würde, und zwar verhältnissmässig desto tiefer, je höher die Temperaturen sind. Auf Seite 18 ist die Kurve aus Temperatur und Spannung eingezeichnet, wie Pictet dieselben angiebt. Nachstehende von ihm veröffentlichte Tabelle stellt die Vergleichsspannungen von Ammoniak und schwefliger Säure, ferner diejenigen seiner Mischung nach den bekannten physikalischen Gesetzen, sowie diejenigen, die sich angeblich wirklich herausgestellt haben sollen, dar. Sie sollen schliesslich sogar unter die Spannung der schweflige Säure herabgehen.

Bei den in früheren Kapiteln erwähnten Mischungen ist nun eine derartige Beobachtung von keinem der Erfinder derselben gemacht worden, vielmehr hat sich die Leistung genau nach den wissenschaftlichen Gesetzen vollzogen. Pictet dagegen, der diese vorbemerkten Resultate erlangt haben wollte, bezeichnet die Abweichung von den Gesetzen mit dem Ausdruck innerphysikalisch-chemische Vorgänge. Wir nehmen an, dass der Vorgang ungefähr ein solcher ist, wie er von andern Erfindern als Kombination von Kompression und Absorption bezeichnet worden ist. Während der Kompression wird zuerst die bei höherer Temperatur siedende Flüssigkeit, die schweflige Säure, flüssig und absorbiert dann die Kohlensäure. Die dabei frei werdende Wärme muss natürlich durch Kühlwasser abgeführt werden, weshalb ein grösserer Kühlwasseraufwand erforderlich ist.

Es mag sein, dass man bei der Stellung, welche Pictet zu der Branche der Kälteerzeugung eingenommen hat, schwer sich zu der Annahme entschliessen kann, dass er bei seinen Versuchen irgend einer

uschung unterlegen habe, der Vorgang ist aber offenbar ähnlich wie bei n Vacuummaschinen, in welchen die von den Dämpfen bei der Vermpfung aufgenommene Wärme der Absorptionsflüssigkeit (hier der hwefligen Säure) zugeführt und dann in zweiter Reihe von dem Kühlerasser aufgenommen wird.

Tabelle XXI.

Temperatur	Ammoniak	Theoretische Kurve von schweflige Säure und Kohlensäure	Wirkliche Kurve von schweflige Säure und Kohlensäure	Schweflige Säure	Temperatur	Ammoniak	Theoretische Kurve von schweflige Säure und Kohlensäure	Wirkliche Kurve von schweflige Säure und Kohlensäure	Schweflige Säure
	Atm.	Atm.	Atm.	Atm.		Atm.	Atm.	Atm.	Atm.
30°	1,14	0,77	0,77	0,36	+ 15°	7,12	4,98	2,98	2,78
25°	1,45	0,91	0,89	0,55	+ 20°	8,40	5,88	3,40	3,30
20°	1,83	1,28	0,98	0,61	+ 25°	9,80	6,86	3,92	3,80
15°	2,28	1,59	1,18	0,76	+ 30°	11,44	8,00	4,45	4,60
10°	2,82	1,97	1,34	1,00	+ 35°	13,08	9,15	5,05	5,30
5°	3,45	2,41	1,60	1,25	+ 40°	15,29	10,40	5,72	6,20
0°	4,19	2,92	1,83	1,51	+ 45°	17,38	12,16	6,30	7,20
5°	5,00	3,50	2,20	1,90	+ 50°	19,98	13,98	6,86	8,30
10°	6,02	4,21	2,55	2,35					

Man hat sich den Vorgang so zu denken, dass die schweflige Säure, welche bei geringerer Spannung flüssig wird, als Kohlensäure, das in der Maschine arbeitende Medium darstellt. Die Arbeit L , welche zu deren Compression aufgenommen wird, ist nach der mechanischen Wärmelehre $= \frac{Q_1 T_2 - T_1}{A}$, worin Q_1 die erzeugte Kälte, T_1 die Temperatur auf der Zugseite, T_2 auf der Druckseite ist. Arbeitsaufwand ist aber gleichbedeutend mit Wärmezufuhr, und wenn daher der geleisteten Arbeit L noch weitere Wärme, z. B. durch Absorption der Kohlensäure, zugeführt wird, so muss auch das Kühlwasser diese Wärmevermehrung mit abführen, um die Kondensation der schwefligen Säure zu ermöglichen. Bei der Verdampfung im Verdampfer entspricht dann die aufzunehmende Wärmemenge der geleisteten Arbeit $L + W$ der bei der Absorption der Kohlensäure dem Medium zugeführten Wärme.

Der Gegenstand bietet um so mehr grosses Interesse, als Verfasser die Ansicht ist, dass die von den Erbauern der Schwefligsäureanhydrid-Maschinen hervorgehobenen Vortheile der geringen Spannung auf der Druckseite des Kompressors in der That sehr beachtenswerth sind, weil die Vereinfachung der Maschine dadurch recht wesentlich wird. Wenn nun durch die Pictet-Flüssigkeit eine Verringerung der Cylinderdimensionen eintreten würde, so würden die Reibungsverluste ebenfalls sich verringern. Jedenfalls sollte man in Deutschland in Berücksichtigung auf die hundertfachen Aus-

führungen von Schwefligsäuremaschinen durch die Pariser Fabrik und die Zufriedenheit der Käufer derselben, namentlich in überseeischen Ländern, nicht nur die Vortheile des Ammoniaks allein hervorheben, sondern die Augen gegen diejenigen der schwefligen Säure oder anderer Medien nicht verschliessen.

In der That ist neuerdings der Bau von Schwefligsäuremaschinen in Deutschland mehrfach mit guten Resultaten aufgenommen worden.

Wir werden später die Versuche besprechen, welche ganz neuerdings von den Erbauern dieser Maschinen sowohl, wie von Herrn Professor Schröter in München vorgenommen sind, und dabei erörtern, in wie weit die hier ausgesprochene Ansicht sich aufrecht erhalten lässt oder nicht.

Pictet gab an, dass seine Flüssigkeit aus je einem Molekul der beiden Flüssigkeiten bestehe, Corsepius gab sie zu 3 Theilen CO_2 und 97 Theilen SO_2 an, die Untersuchung ergab 2,6, 2,9, 3,2 Volumina CO_2 auf 100 Volumina der Mischung in drei verschiedenen Fällen. Auch bei Untersuchung der Spannkkräfte mit dem Cailletet'schen Apparat fand sich, dass kein Schneiden der Spannkraftkurve mit derjenigen der schwefligen Säure stattfindet, denn es ergab:

Tabelle XXII.

Temp.	Druck in Atmosphären			Sajotschewsky
	Flüssigkeit Pictet		SO_2	
	Pictet	Blümke	Regnault	
0	1,8	1,7	1,5	—
10	2,2	2,5	2,3	—
20	3,4	3,3	3,2	—
30	4,5	4,6	4,5	—
35	5,0	5,5	5,3	—
39	5,59	6,17	5,98	—
46	6,41	7,63	7,33	—
60	—	11,23	10,69	11,09
64,4	—	13,47	11,94	12,51
97,05	—	27,4	—	26,24

Die folgende Tabelle enthält eine vollständige Zusammenstellung Blümcke's.

Endlich sind noch in Wien Analysen des Dampfes und der Flüssigkeit Pictet gemacht worden, wonach der Dampf

1 Proc. CO_2 auf 99 Proc. SO_2 ,

dagegen die Flüssigkeit 3 " " " 97 " " enthält.

Tabelle XXIII.

Nr.	Proc. CO ₂ in 100 Theilen Mischung	Druck in Atmosphären bei							
		-17°	-15°	-10°	0°	10°	20°	30°	35°
1	0	—	0,80	1,00	1,53	2,26	3,24	4,52	5,28
2	0,6	—	—	—	1,83	2,66	3,69	5,00	5,78
3	1,0	1,02	—	1,39	2,02	—	—	—	—
4	1,7	—	—	—	2,29	3,11	4,20	5,63	6,44
5	1,7	1,33	—	1,68	2,34	3,20	—	—	—
6	2,6	—	1,80	2,09	2,80	3,68	4,91	6,49	7,35
7	3,5	—	—	—	3,20	3,90	5,11	6,72	7,53
8	4,8	—	—	—	3,82	4,86	6,36	7,24	9,25
9	5,0	—	2,51	3,01	3,93	4,94	—	—	—
10	10,4	4,33	—	5,02	6,42	8,61	11,08	13,77	15,46
11	16,5	5,80	—	7,11	6,09	11,48	14,21	17,73	19,61
12	23,4	7,72	—	9,30	11,79	14,75	18,40	22,74	25,06
13	29,6	—	—	11,60	14,38	18,35	22,96	28,93	30,71

Das dürfte meine oben ausgesprochene Ansicht über die Absorption der Kohlensäure bestätigen. Da die Konzentration überhaupt eine schwache ist, sagt Blümcke, so kann man Anwendung machen von der Formel:

$$c_0 - c_1 = \frac{p_0 - p_1}{p_0},$$

worin c_1 den Procentgehalt des Dampfes, c_0 den Procentgehalt der Flüssigkeit eines Gemisches flüchtiger Stoffe, p_1 den Druck des Dampfes, p_0 den Druck der reinen Flüssigkeit bedeuten.

Ist nun $c_1 > c_0$, so muss auch $p_1 > p_0$ sein. Es ist also im vorliegenden Falle unmöglich, dass die Spannkraftskurven der Flüssigkeit Pictet und der reinen SO₂ sich schneiden.

Nachdem ein Patentprozess entschieden hat, und zwar endgültig, dass Pictet nicht berechtigt war seine Flüssigkeit anderen zur Ausbeutung zu übergeben, als seinen Konzessionären der Compagnie industrielle des Procédés Raoul Pictet in Paris, und da diese Gesellschaft die erwähnten Versuche von Rilliet hat machen lassen, so mag wohl diese merkwürdige Episode endgültig von der Bildfläche verschwunden sein, die fast das Ansehen einer rein geschäftlichen Manipulation hatte.

Pictet nimmt eben an, dass der zweite Hauptsatz der Thermodynamik $AL = Q_1 \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1} \right)$ dann nicht mehr richtig sei, wenn chemische Veränderungen in der arbeitenden Flüssigkeit vorgehen, und das nimmt er bei seinem Gemische an, indem er voraussetzt, dass die beiden Säuren eine chemische Verbindung bei höheren Temperaturen eingehen, während sie sich bei niederen Temperaturen wieder scheiden. Es soll also bei jedem Hube des Kompressorkolbens ein solcher Vorgang stattfinden.

Blümcke's
Versuche
mit Pictet-
Flüssigkeit.

Den Pictet'schen Behauptungen und Tabellen gegenüber wurden von Dr. Ad. Blümcke in München zunächst zum Vergleichs Versuche angestellt und zuerst die specifischen Gewichte von Kohlensäure und schwefliger Säure bestimmt. Die Resultate*) waren in guter Uebereinstimmung mit denen von Cailletet und Mathias.

Tabelle XXIV.

Spec. Gew. im Mittel der Untersuchungen			
Temp.	CO ₂	Temp.	SO ₂
0	0,923	0	1,436
10	0,867	20	1,382
20	0,755	30	1,355
30	0,550	35	1,342

Die Mischungen ergaben folgende Zahlen:

Tabelle XXV.

Gew. der Mischung	Gehalt von CO ₂		Differenz
	beobachtet	ber. aus d. Druck	
373 g	13 Proc.	16 Proc.	+ 3
443 "	28 "	32 "	+ 4
468 "	33 "	34 "	+ 1
378 "	24 "	24,5 "	+ 0,5
400 "	32,5 "	29,7 "	- 2,8
420 "	38,6 "	39,6 "	+ 1
und			
98 g	32,7 Proc.	25,3 Proc.	- 7,4
121 "	45,5 "	39,4 "	- 6,1
133 "	50 "	49 "	- 1
73 "	24,7 "	16,8 "	- 7,9
92 "	40,2 "	27,5 "	- 12,7
105 "	47,9 "	39,2 "	- 8,7
120 "	53,4 "	51,6 "	- 1,8*

Aus letzter Hälfte der Tabelle geht hervor, dass die Berechnung aus den Drucken bei geringer Füllung des Apparats erhebliche Abweichungen zeigt und daher nicht zulässig ist. Die Spannkraft der Dämpfe ist, wie man sieht, abhängig vom Volumen, die untersuchten Dämpfe waren daher nicht gesättigt.

Rilliet untersuchte, ob die Siedetemperatur der schwefligen Säure in der That durch Zusatz von Kohlensäure erhöht, und ob die Spannkraft

*) Ad. Blümcke: Ueber die Bestimmung der specifischen Gewichte und Dampfspannungen einiger Gemische von schwefliger Säure und Kohlensäure. 1868. Leipzig bei

des Dampfes kleiner werden kann. In einem kleinen Versuchsapparate betrug das Gewicht der CO₂ 217 g, der SO₂ 334 g.

Der entstehende Druck war bei

0	21	22.2	40°
20,5	27	28	36 Atm.

Bei einem zweiten Versuch waren gemischt CO₂ 167 g, SO₂ 239 g.

Der Druck war bei 17,2° C. 26 Atm. Wurde das Mischungsverhältniss so gewählt, dass er bei -20° ungefähr 1 Atm. betrug, so erhielt er:

Tabelle XXVI.

	0,4 Proc. CO ₂ + 99,6 " SO ₂	SO ₂ nach Regnault
bei - 22,5° C.	0,97 Atm.	0,58 Atm.
" - 17 "	1,19 "	0,78 "
" - 9 "	1,48 "	1,05 "
" - 4,5 "	1,71 "	1,28 "
" + 2,4 "	2,10 "	1,71 "
" + 8,2 "	2,52 "	2,13 "
" + 15,5 "	3,21 "	2,83 "
" + 20 "	3,68 "	3,24 "
" + 36 "	6 "	5,46 "

ferner bei einem andern Versuch:

Tabelle XXVII.

	0,6 Proc. CO ₂ + 99,4 " SO ₂	SO ₂ nach Regnault
bei - 22° C.	1,09 Atm.	0,59 Atm.
" 0 "	2,0 "	1,53 "
" + 30 "	5,08 "	4,52 "

Es werden nun noch von Schüchtermann & Kremer in Dortmund, A. Borsig in Berlin und der Königsberger Maschinenfabrik in Königsberg i. Pr. Schwefligsäure-Kompressionsmaschinen gebaut.

Schüchtermann & Kremer heben in ihren Prospecten hervor, dass die Spannung der schwefligen Säure geringer sei, als die von Ammoniak und Kohlensäure. Das ist hier schon wiederholt erörtert worden. Unterhalb der Temperatur von -10° C. gelangt die Spannung unter die Atmosphäre. Die Möglichkeit des Luft Eintritts durch die Stopfbüchse lässt die Gefahr eintreten, dass es zu Oxydationen derselben kommt. Bei mässigen Kälte-temperaturen ist diese Gefahr gering, bei tiefen Temperaturen wird sie grösser. Dagegen ist die kritische Temperatur der schwefligen Säure nahe derjenigen des Ammoniaks und liegt daher für den Wirkungsgrad der Maschinen günstig, und zwar nahe demjenigen von Ammoniak. Die geringe Druckspannung wird als vortheilhaft hervorgehoben, weil durch die

Schweflig-
säure-Ma-
schinen von
Schüchter-
mann &
Kremer in
Dortmund.

vielen Verschraubungen, Flanschen, Stopfbüchsen u. s. w. die schweflige Säure weniger entweichen kann, als die anderen Medien, besonders Kohlensäure, welche mit 60 bis 70 Atmosphären arbeitet. Es wird auch angegeben, dass schweflige Säure die Eigenschaft habe, leicht und schnell zu verdampfen, so dass sich nach Stillsetzen der Maschine die Spannung in allen Apparaten schnell ausgleiche, während bei Ammoniak die Ventile schnell geschlossen werden müssen, um zu verhindern, dass dasselbe nicht in flüssigem Zustande in den Kompressor gelange. Woher dieser Unterschied kommen solle, ist schwer zu erkennen. Ferner wird aufmerksam gemacht, dass es nöthig sei bei Ammoniak Flüssigkeit aus dem Verdampfer in den Kompressor übertreten zu lassen, um Ueberhitzung

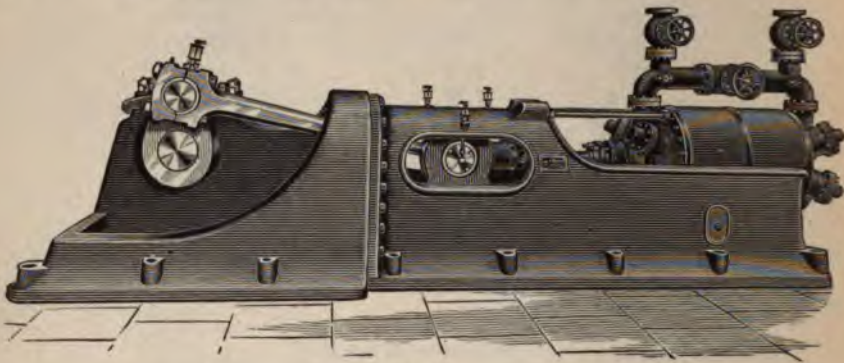


Fig. 190.

bei der Kompression zu vermeiden. Auch dieser Unterschied ist schwer zu erkennen, denn wenn man für nöthig hält Ueberhitzung zu vermeiden, so dürfte Aehnliches bei schwefliger Säure nöthig sein, vielleicht in etwas geringerem Maasse. Die Rechnung auf Grund der theoretischen Erörterungen von Kompressionsmaschinen auf Seite 70 bis 100 dürfte darüber aufklären.

Dagegen erscheint in der That vortheilhaft, dass die Pictet-Maschinen ohne Oelschmierung arbeiten, weil die schweflige Säure in flüssigem Zustande schlüpfrig sei. Die Maschinen werden dadurch einfacher, weil alle zur Schmierung und Oelreinigung und Destillation erforderlichen Apparate fortfallen. Dafür ist aber Kühlung des Kompressionscyinders und der Stopfbüchse nöthig, damit während der Kompression stets Flüssigkeit in Kompressor und Stopfbüchse vorhanden ist. Hier mag wohl eines das andere aufwiegen, und es ist ohnehin nicht ausgemacht, dass dieser Vorzug der schwefligen Säure allein gebühre. Allerdings laufen mehr als tausend solcher Maschinen ohne Oelschmierung gut.

Schüchtermann & Kremer versehen deshalb ebenso wie die Pictet-Gesellschaft in Paris den Kompressor mit einer Broncebüchse und Bronze-

Kolbenstange und Stopfbüchse, und machen den Verdampfer und Kondensator aus Kupfer, welche Metalle indifferent gegen schweflige Säure sind.
 Ich komme später auf die Maschine von Schüchtermann & Kremer

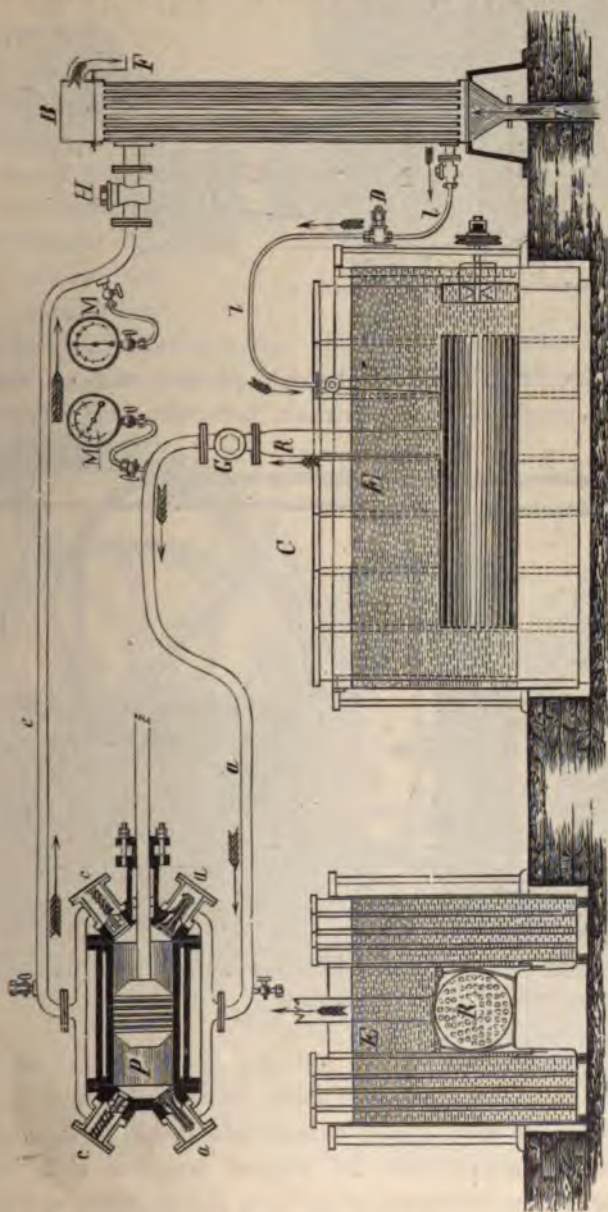


Fig. 191.

zurück und gebe für jetzt in Fig. 193 bis 195 Abbildung einer Maschine
 von der Compagnie industrielle des Procédés Raoul Pictet in Paris, aus
 welcher auch die Wasserkühlung des Kompressors und der Kolbenstange

Schweflig-
 säure - Ma-
 schine von
 der Com-
 pagnie etc.
 Pictet in
 Paris.

zu erkennen ist. Das Verständniss derselben ergibt sich aus den vorhergegangenen Beschreibungen der Kompressionsmaschinen von selbst.

Apparat zur
Herstellung
destillirten
Wassers.

Fig. 196 zeigt einen Verdampfer aus Kupferröhren, der auch ohne weitere Beschreibung verständlich ist.

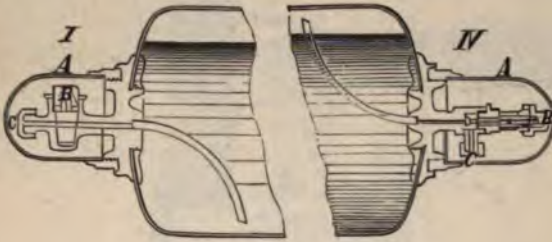


Fig. 192.

Fig. 197 stellt einen Apparat zur Herstellung von destillirtem Wasser zur Eiszerzeugung dar, der ähnlich konstruirt ist wie der Linde'sche Seite 186.

Diese Pictet-Maschinen waren die ersten brauchbaren Kompressionsmaschinen. Die erste

wurde schon im Jahre 1868 in Betrieb gesetzt, und es wird von den Erbauern die grosse Betriebssicherheit hervorgehoben wegen der Ein-

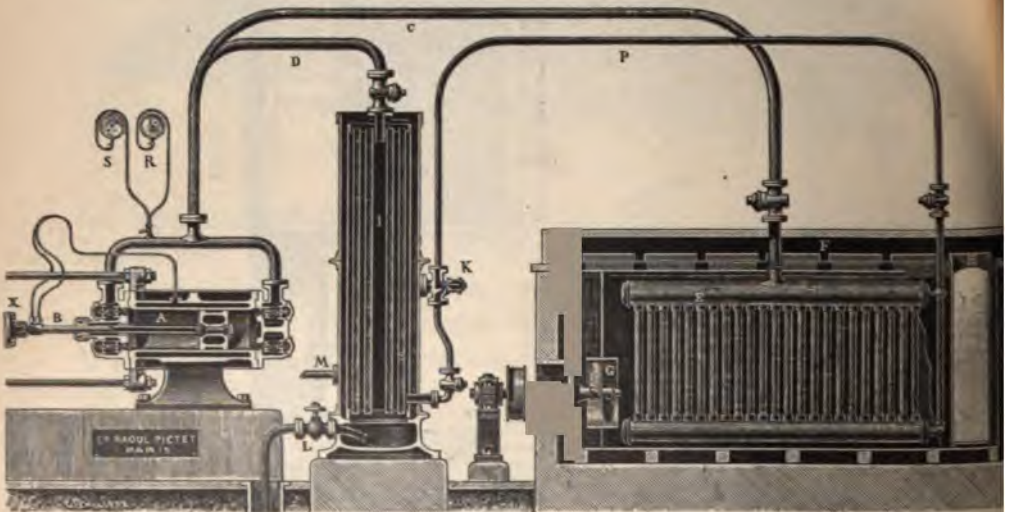


Fig. 193.

fachheit und geringen Spannung, mit der sie arbeiten. Aus allen vorhergegangenen Betrachtungen wird sich Jeder selbst ein Bild darüber machen können. Es wird darauf aufmerksam gemacht, dass wegen Fortfalls von allen Schmiermitteln die Röhren innerlich stets rein bleiben, und daher die Wärmetransmission zu allen Zeiten gleich gut bleibe. Die Röhren, welche angewendet werden, seien nahtlose Kupferröhren und daher die Dichtigkeit gut. Andererseits ist dabei nicht zu verkennen, dass die vielen Verschraubungen und Flanschen entgegengesetzte Ansichten

hervorrufen können. Die Apparate der Ammoniakmaschinen sind meistens aus endlosen, nahtlosen, geschweissten Eisenröhren gemacht und haben

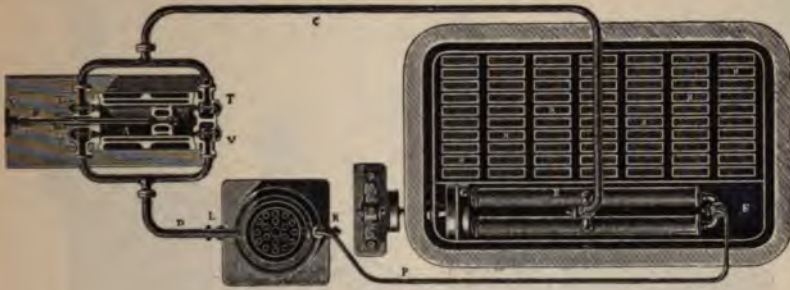


Fig. 194.

sehr wenig Flanschenverbindungen. Die Amerikaner freilich machen viele Muffenverbindungen und Verschraubungen. Schüchtermann & Kremer

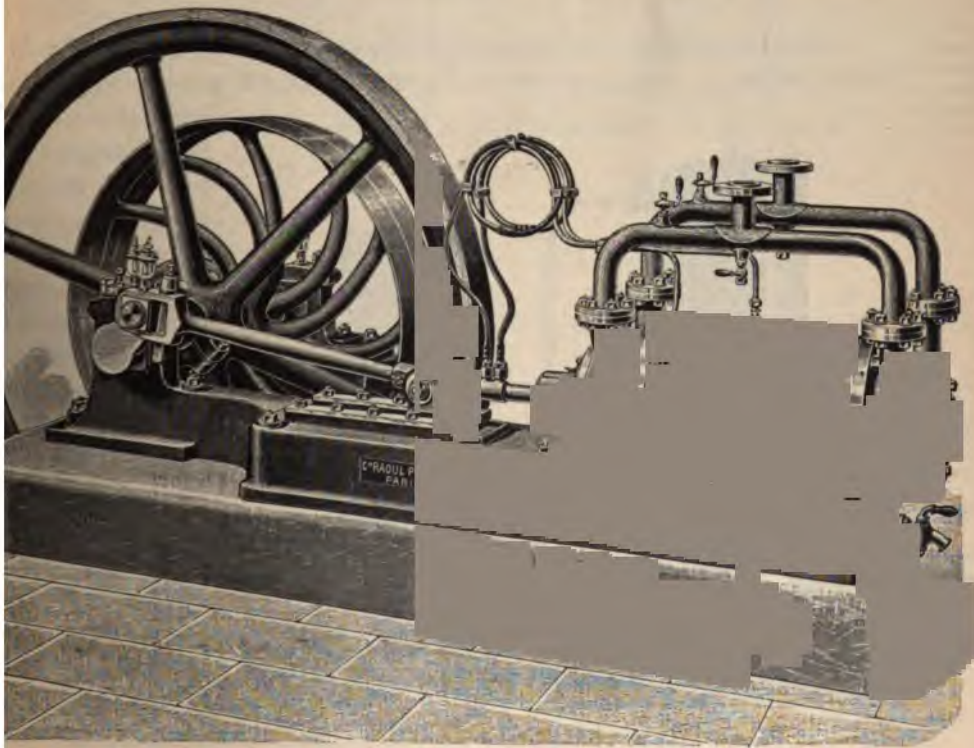


Fig. 195.

nachen Kondensatoren nach Fig. 198 bis 201 ebenfalls aus gezogenen Kupferrohren. Die Figuren stellen einen Berieselungskondensator dar für

eine Eismaschine Nr. IV a. Für grössere und kleinere Maschinen wird die Zahl der Schlangen entsprechend vermehrt oder vermindert.

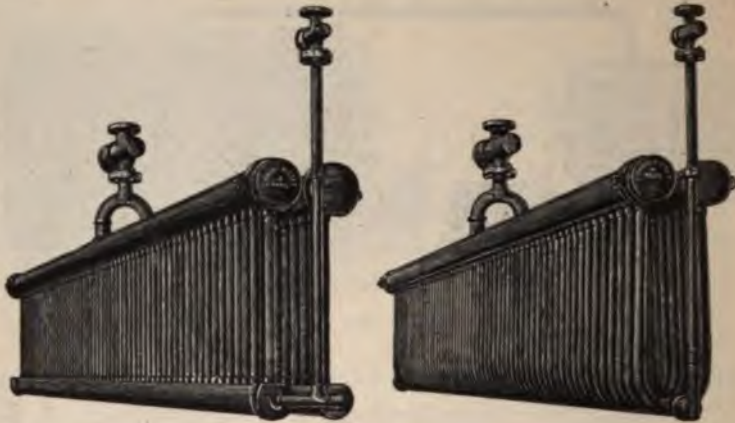


Fig. 196.

Schweflig-
säure-Ma-
schinen von
A. Borsig in
Berlin.

Der Unterschied der Schwefligsäuremaschine von A. Borsig in Berlin weicht so wenig ab von den obigen, dass ich auf besondere Ab-

bildung verzichte. Die Kondensatoren sind ähnlich konstruirt aus kupfernen Schlangengeröhren, wie die Linde'schen, und die Verdampfer sind aus endlosen Kupferrohren gemacht. Beide bieten nichts Besonderes.

Römpler's
Circulations-
apparat im
Verdampfer.



Fig. 197.

Beider Maschine der Königsberger Maschinenfabrik findet ein Römpler'sches Patent Anwendung, welches eine leb-

hafte Circulation der Kälteflüssigkeit in den Verdampferschlangen bezweckt. In der Fig. 202 geht die Circulation in der Richtung der Pfeile vor sich, das senkrechte mit dem Sammelrohr *a* verbundene Ende *c* der Schlange *b*

st gegen Wärmeaufnahme mit einer Schutzmasse umgeben und durch Rohr *i* eine Verbindung von *c* mit *b* unterhalb des Niveaus der Flüssigkeit hergestellt. Um den einzelnen nebeneinander liegenden Schlangen in gleichem Maasse Kälteflüssigkeit wieder zuzuführen, ist das konisch verlaufende Füllrohr *k* angeordnet, das mit einer den Schlangen entsprechenden Anzahl Füllen versehen ist.

Es wird angegeben, dass die Verdampfer eine so lebhaftere Circulation hätten, dass nur die Hälfte der Flüssigkeit, soll wohl heißen der Oberfläche, erforderlich sei.

Auch die Kolbentange wird von Komplex nicht innerlich, wie bei den Dampfmaschinen üblich, gekühlt, sondern der Stopfbüchsenhals von Wasser.

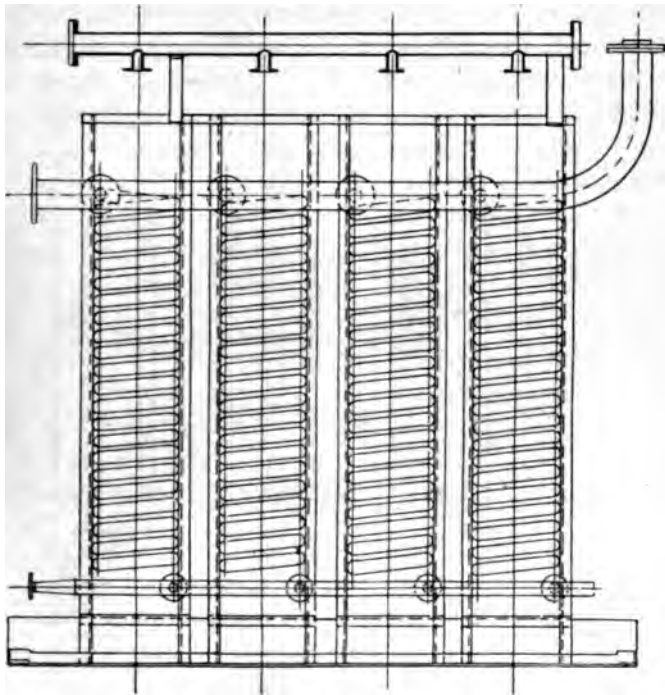


Fig. 198.

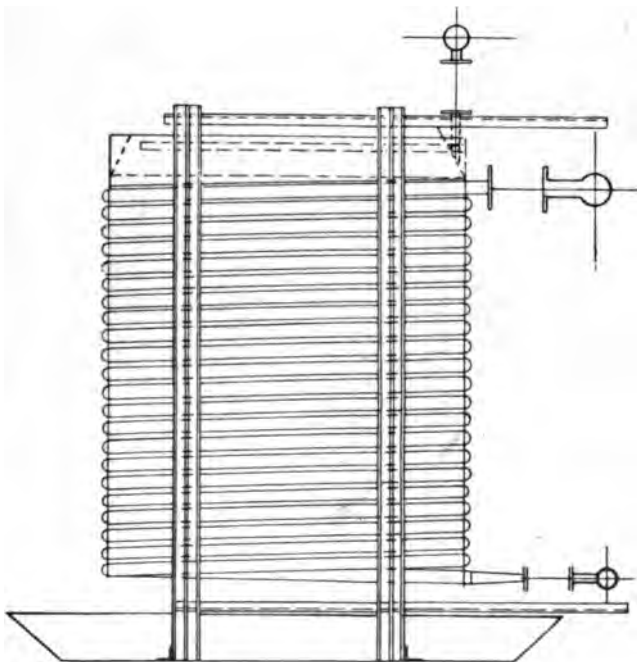


Fig. 199.

Quiri & Co. in Schiltigheim-Strassburg bauen auch reine Schwefligsäuremaschinen, bei denen es dieser Firma hauptsächlich auf Vereinfachung

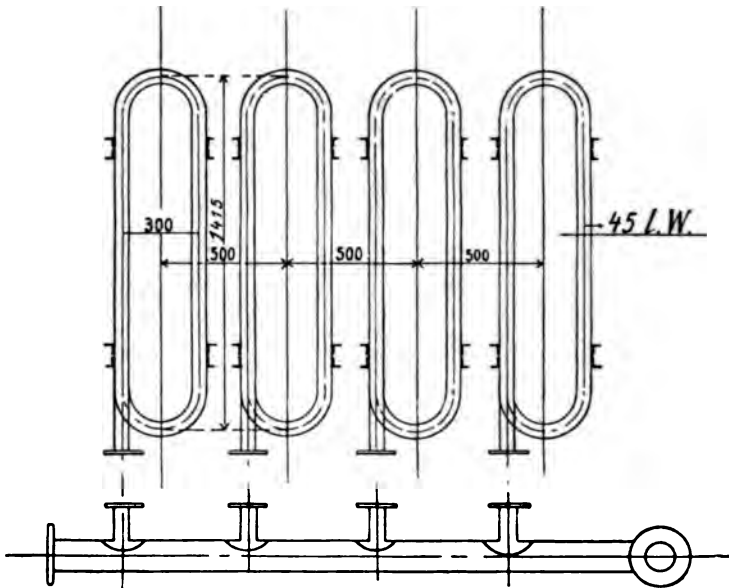


Fig. 200.

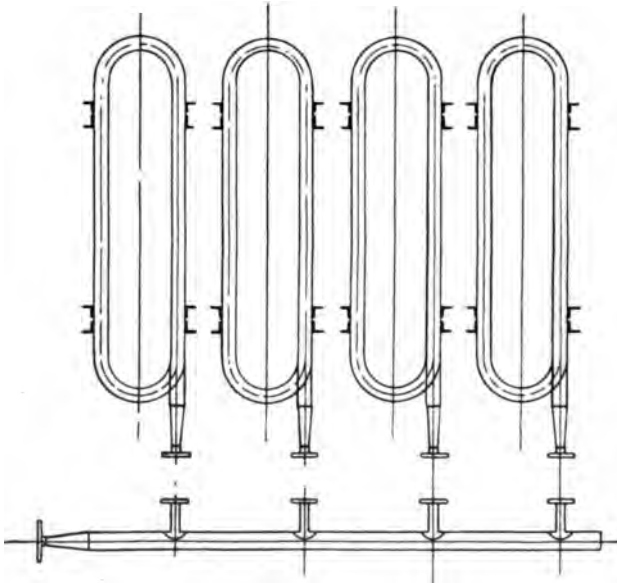


Fig. 201.

in der Konstruktion ankommt, die bei den Ventilen in der That durchgeführt ist. Es wurde auch den

Schwefligsäuremaschinen nachgerühmt, dass jede Schmierung in Wegfall kommen könne, jedoch meint diese Firma, dass dies wegen der schlüpfrigen Beschaffenheit der schwefligen Säure doch nur so weit Platz greifen könne, als dadurch ein An-

fressen von Kolben und Cylinder vermieden werde, während sie nicht genügend Schmierung biete, um den Reibungswiderstand der Kompressorkolben auf ein Minimum

zu reduciren. Sie wendet daher Stopfbüchsen-schmierung in einfachen Stopfbüchsen an.

Die Firma hat ferner Kondensator- und Verdampferkonstruktionen, System R. Rau, eingeführt. Dieselben sind aus mehreren konzentrisch ineinander oder parallel nebeneinander liegenden Schlangenrohren zusammengesetzt, deren obere und untere Enden an die Mündungen eines Vertheilungs- resp. Sammelrohres angeschlossen sind. — In Anbetracht der Länge dieser Schlangenapparate, deren einzelne Spiralen in der Regel 200—300 m und mehr erreichen, wird der Reibungswiderstand der in diesen Schlangen circulirenden Dämpfe ziemlich fühlbar; ausserdem bieten jedoch die Refrigeratoren dieser Gattung noch einen weiteren Uebelstand: dass durch das Absaugen der Dämpfe aus dem unteren Sammelrohr stets Flüssigkeitstheilchen mitgerissen werden, welche dann in dem Kompressor während der Saugperiode nachverdampfen und somit den Nutzeffekt des Kompressors vermindern.

Rau's Kondensator und Verdampfer von Quiri & Co. in Strassburg.

Die in Figur 203 im Längs- und Querschnitt dargestellten Kondensatoren und Refrigeratoren, System R. Rau, bezwecken die Beseitigung der soeben erwähnten Uebelstände und sind ihrer Konstruktion nach einfacher, als die bisher bekannten Schlangensysteme.

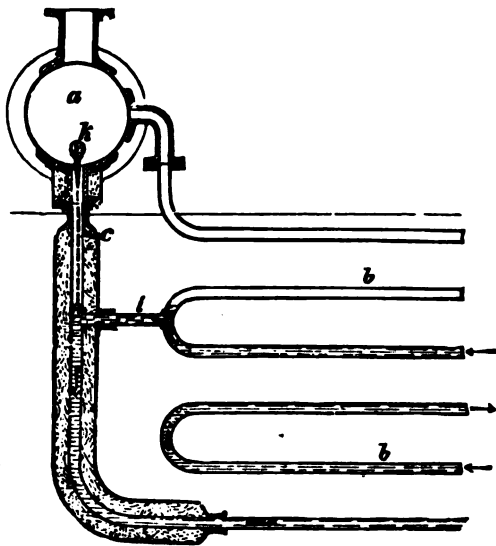


Fig. 202.

Die Verflüssigung — bei den Kondensatoren — und die Verdampfung — bei den Refrigeratoren — vollzieht sich in stählernen Flaschen *A*, ohne jegliche Löthstelle. Die Böden dieser Flaschen sind halbkugelförmig geschweisst, und der obere Theil verjüngt sich in Form eines Flaschenhalses und trägt eine Umbördelung, die zugleich als Flansche dient. Mehrere dieser Flaschen *A*, gewöhnlich 10—20, schliessen sich an ein gusseisernes Sammelrohr *B* an. An diesem Sammelrohr befindet sich ein Stutzen *C* von grossem Querschnitt, welcher mit dem Dampfraum *B* in direkter Verbindung steht, und ein zweiter kleiner Stutzen *D*, welcher in einen engen, längs dem Dampfraum *B* sich hinziehenden engen Kanal *E* mündet. Dieser Kanal *E* hat ebenso viele kleine senkrechte Mündungen, als Flaschen *A* vorhanden sind, und diese Mündungen führen durch kleine Röhren *F* die Flüssigkeit bis auf den Grund einer jeden Flasche.

Kondensator und Refrigerator sind von gleicher Konstruktion. Als Kondensator arbeitet dieser Apparat folgendermaassen:

Der Kompressor drückt die Dämpfe durch den Stutzen *C* in das Sammelrohr *B* und in die Flaschen *A*. Unter der doppelten Einwirkung des Druckes und der Wärmeabgabe an das die Flaschen *A* umgebende Kondensationswasser verflüssigen sich die Dämpfe und setzen sich am Boden einer jeden Flasche *A* als Flüssigkeit nieder. Durch die engen Taucher-

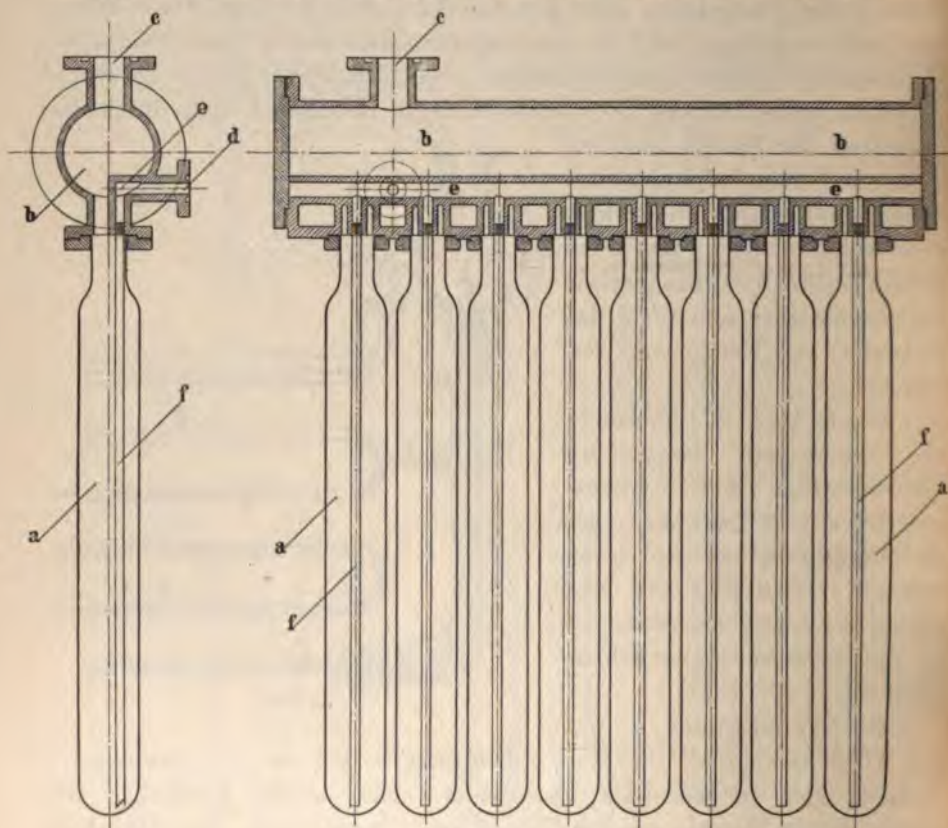


Fig. 203.

röhrchen *F* wird die Flüssigkeit dem kleinen Kanal *E* und von da aus dem Refrigerator zugeleitet.

Als Refrigerator angewandt findet der Kreislauf in diesen Apparaten im umgekehrten Sinne als in den Kondensatoren statt. Die von dem Kondensator kommende Flüssigkeit tritt durch den Kanal *E* in den Apparat ein und wird durch die Taucherröhrchen *F* in jede Flasche vertheilt. Die Verdampfung findet in den Flaschen *A* statt, welche von Salzwasser umgeben sind, und saugt der Kompressor die Dämpfe durch den Stutzen *C* aus dem gleichzeitig als Dampfdom dienenden Sammelrohr *B* ab.

Zum Schlusse sei nur noch erwähnt, dass die stählernen Flaschen *A* aus einem Stück, ohne jede Löthstelle hergestellt werden, und werden dieselben ausserdem, um sie gegen die Korrosion des Salzwassers zu schützen, verbleit. — Die grosse Einfachheit dieses Systems besteht speciell darin, dass die Flaschen sowie die Sammelrohre alle nach einem Modell hergestellt werden und mit der Grösse der Maschine nur die Anzahl der zur Verwendung kommenden Flaschen variirt. Dieser Umstand vereinfacht die Fabrikation der Apparate System Rau wesentlich.

Einen eigenthümlichen Vorschlag haben Rudloff-Grübs & Co. gemacht, indem sie den in Fig. 204 abgebildeten Kompressor konstruirten, in dem sich der auf Rollen *H* laufende Einsatzcylinder *B* befindet, der abwechselnd an den beiden Kompressordeckeln seinen Sitz findet. Wird *B* von Kolben *D* mitgenommen, so treten die Dämpfe stets am anderen Ende ein und der Kompressor braucht dann nur Druckventile *E*.

Rudloff-
Grübs's
Kompressor.

Auch Quiri & Co. in Strassburg haben den Versuch gemacht, den

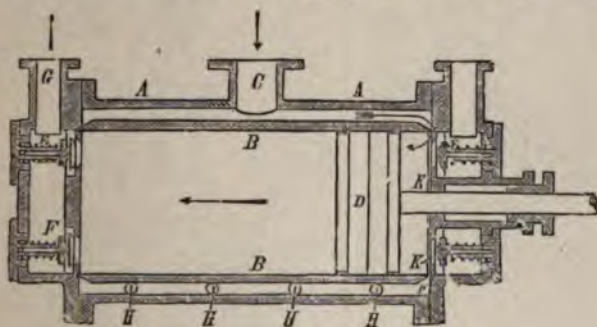


Fig. 204.

oben mitgetheilten Uebelstand der schwefligen Säure, bei Oxydation die Eisentheile anzugreifen, zu beseitigen und zwar durch Beimischung von Kohlenwasserstoffen. Sie wollen damit den Siedepunkt von $-12,5$ bis -13° C. erreichen, und machen folgende Mischungen, deren Anwendung ihnen patentirt ist:

Mischung
von SO_2
von Quiri &
Co. in Strass-
burg.

1. Schweflige Säure SO_2 (Siedepunkt -10°) mit Isobutylen C_4H_8 (Siedepunkt -6°);
 2. SO_2 mit Propylen C_3H_6 (Siedepunkt -30°);
 3. SO_2 mit Butan C_4H_{10} (Siedepunkt 0°);
 4. SO_2 mit Pentan C_5H_{12} (Siedepunkt $+32^{\circ}$);
- worin 90 Proc. SO_2 und 10 Proc. des anderen Stoffes enthalten sind.

In Fig. 205 ist eine Kältemaschinenanlage von A. Borsig abgebildet, welche in der Brauerei am Kreuzberg in Meiningen im Betriebe ist.

Schweflig-
säure-
maschine
von
A. Borsig
in Tegel
bei Berlin.

Die Maschinen von A. Borsig in Tegel bei Berlin sind sehr kompakt und kräftig gebaut und halten in der That jede Konkurrenz aus. Er sagt in seinem Prospect über Schwefligsäuremaschinen u. A. folgendes:

Vor allem ist es die ausserordentliche Einfachheit der Konstruktion welche meine Maschine auszeichnet und bezüglich welcher kein System einen Vergleich mit meinen Maschinen auszuhalten vermag; denn letztere bestehen nur aus Kompressor, Kondensator und Refrigerator ohne alle Nebenapparate.

Ich brauche keine Sammel-, keine Abscheide-, keine Reinigungsgefässe und keine besonderen Pumpen für Schmiermittel, denn meine

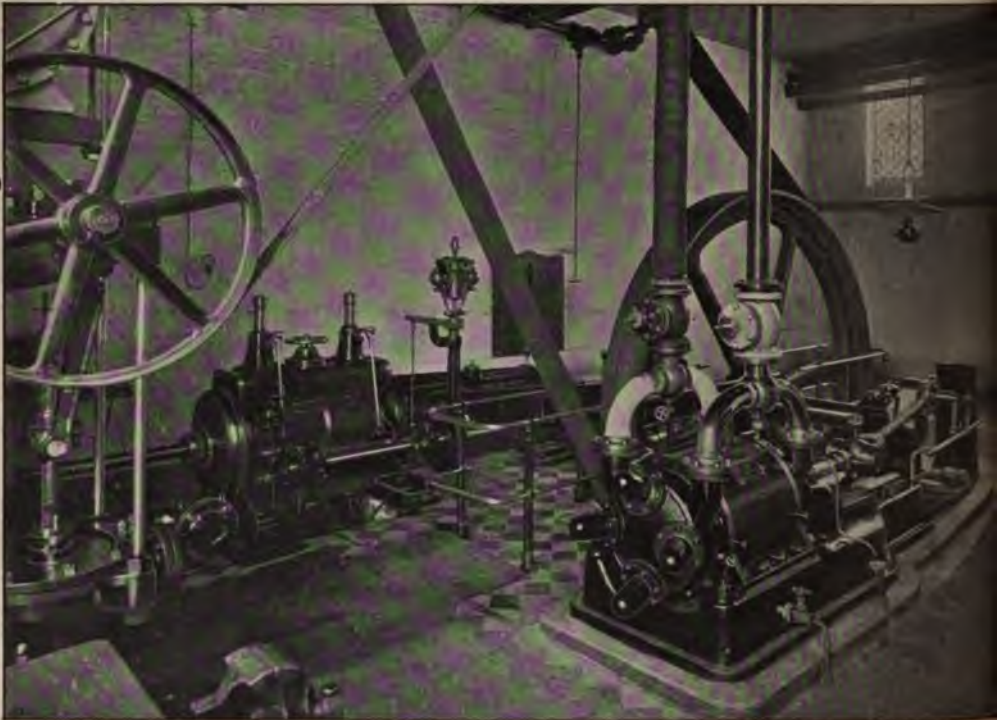


Fig. 205.

Maschine hat anderen Systemen gegenüber den überaus wichtigen Vorzug des Wegfalles der Schmierung für Kompressor, Kolben und Kolbenstange.

Die schlüpfrige Beschaffenheit der schwefligen Säure erübrigt nämlich eine besondere Schmierung dieser Theile, da diese selbst schmiert.

Ich brauche ferner keine Destillationsapparate für die Kälteflüssigkeit wie bei den meisten bekannten Ammoniak-Kompressionsmaschinen notwendig ist, da ich die zum Betriebe meiner Maschinen nöthige schweflige Säure wasserfrei und gebrauchsfertig überallhin liefere, und die umständliche Prozedur des Destillirens mit den sie begleitenden Uebelständen vollständig wegfällt. Letztere bestehen darin, dass während des Destil-

lirrens leicht fremde Körper oder Gase, besonders Wasser, in die Maschine geleitet werden, welche in den Schlangenröhren die Verdampfungsfähigkeit des Ammoniaks und somit die Leistung der Maschinen beeinträchtigen.

Die vorbeschriebene grosse Einfachheit meiner Maschinen hat naturgemäss auch den weiteren Vorzug der äusserst leichten Bedienung im Gefolge; denn je komplizirter eine Maschine ist und je mehr Apparate zu bedienen sind, desto grössere Anforderungen müssen an die Intelligenz des Maschinenführers gestellt werden.

Dieser Vorzug ist für jeden Betrieb wichtig; von ganz besonderem Werthe ist er aber für solche Anlagen, deren geringer Umfang die Anstellung eines besonderen Maschinisten nicht verträgt, oder für welche, wie z. B. in überseeischen Ländern, geschulte Maschinisten nur schwierig und mit bedeutenden pekuniären Opfern zu erhalten sind.

Des Weiteren beruht die Ueberlegenheit meiner Maschinen über diejenigen anderer Systeme in der unvergleichbar hohen Betriebssicherheit für welche auch besonders der schon besprochene Wegfall der Schmierung des Kompressors von grosser Bedeutung ist.

Neben der Einfachheit meiner Apparate und dem Fortfall der Kolben-schmierung ist es aber auch nicht zum mindesten der geringe Druck, unter dem meine Apparate stehen, welcher die Betriebssicherheit meiner Maschinen begründet.

Derselbe beträgt bei Anwendung der normalen Kühlwassermenge nur etwa 2—2½ Atmosphären, während er bei den Ammoniakmaschinen 8—10 und bei Kohlensäuremaschinen gar 60—70 Atmosphären beträgt.

Kohlensäure ist von den bekannten Medien zur Kälteerzeugung, wie wiederholt hervorgehoben, dasjenige, welches die geringsten Kompressor-dimensionen erfordert, aber die Spannungen sind enorm hohe, 60—80 Atmosphären auf der Druckseite, 20—30 Atmosphären auf der Saugseite.

Die erste mit Kohlensäure arbeitende Maschine, von der man hörte, ist von der Maschinenfabrik Augsburg im Jahre 1883 gebaut und bei Krupp in Essen im Betrieb. Die Fabrikation flüssiger Kohlensäure hat die Einführung derselben in die Maschine sehr erleichtert. Es ist vorstehender Versuch daher gemacht worden mit einer nach Linde'schem System gebauten Kältemaschine; über die Resultate derselben habe ich indessen nichts erfahren können. Nach ähnlichem Systeme hat dann Dr. W. Raydt in Hannover, welcher durch die Verwendung flüssiger Kohlensäure für Ausschankzwecke in Brauereien wohl bekannt ist, Kohlensäuremaschinen konstruirt, welche in der Maschinenfabrik Deutschland in Dortmund und von der Friedrich-August-Hütte in Potschappel bei Dresden ausgeführt werden. Fig. 206 stellt diese Maschine dar. *A* ist die Kompressionspumpe, *B* der Kondensator, *C* ein zwischengeschalteter Kühler, *D* der Verdampfer und *E* ein Gasometer zum Aufsammeln des aus der Stopfbüchsenkammer

Kohlen-säure-maschine von der Maschinen-fabrik Augsburg.

Kohlen-säure-maschine von Raydt.

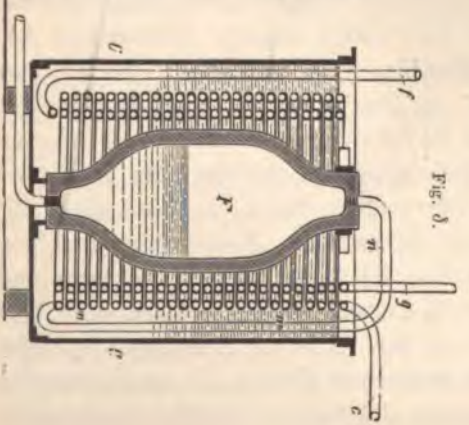
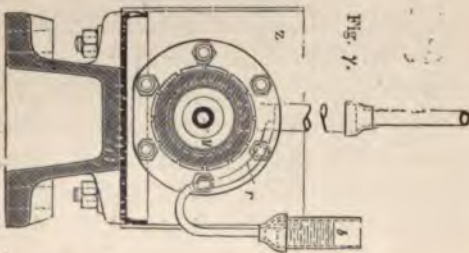
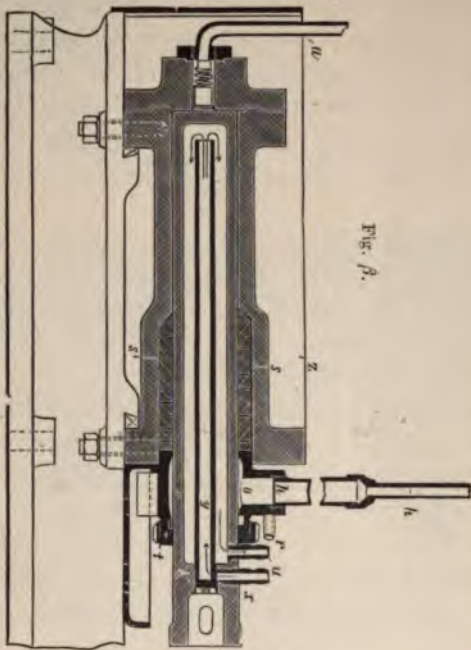
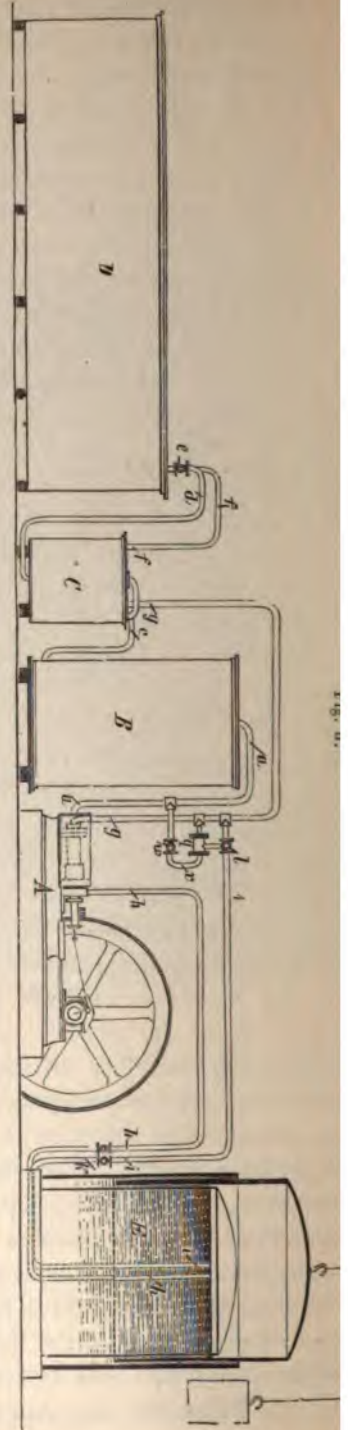


Fig. 206.

entweichenden Gases. Der Körper der Pumpe Fig. β und γ liegt in einem Behälter z , der mit Kühlflüssigkeit angefüllt ist, um die ausserordentlich hohen Spannungen der Kohlensäure schon im Kompressor durch Abkühlung so viel als möglich herabzuziehen. Auch der Pumpenkolben ist hohl und wird durch Kühlflüssigkeit, welche durch das Rohr x in das Innere des Kolbens K mittelst Rohr y geleitet wird, abgekühlt. Durch das Rohr u fliesst die gebrauchte Kühlflüssigkeit dann ab.

Die Stopfbüchsenkammer o steht durch ein U förmig gebogenes Rohr r mit dem Behälter b zur Aufnahme der Schmierflüssigkeit, und durch ein Rohr h mit dem Inneren des Gasometers E in Verbindung, so dass die in der inneren Stopfbüchse s entweichende Kohlensäure durch Rohr h nach r gelangt und sich hier ansammelt. Da die Spannung in der Kammer o nur gleich der Atmosphäre oder wenig abweichend davon sein soll, so wird das im Gasometer angesammelte, durch die Sperrflüssigkeit der Stopfbüchse indurchgetretene Gas von dem Verdampfer, oder durch einen Strahlapparat, abgesaugt und in die Kompressorpumpe hineingedrückt.

Die in dem Kompressor A komprimierte hoch erhitze Kohlensäure gelangt durch Rohr a Fig. α nach dem Röhrenkondensator B und aus diesem durch das Rohr c nach dem Zwischenkühler C , dessen Einrichtung aus Fig. δ ersichtlich ist. Das Rohr c geht zunächst in eine Schlange m über, die durch das Rohr n mit dem oberen Theile des Behälters F verbunden ist. Von dem unteren Ende desselben führt das Rohr d mit Ventil oder dem Hahn e nach dem Verdampfer. Die aus dem Verdampfer ausretenden Kohlensäuredämpfe treten durch das Rohr f in die Schlange p des Zwischenkühlers. Beide Schlangen, sowie der Behälter F sind von einer Salzlösung umgeben, welche als Temperatenausgleicher zwischen den durch die Schlangen ziehenden heissen stark gespannten und kalten weniger gespannten Kohlensäuredämpfen dient.

Indem wir uns nicht weiter über Einzelheiten der Konstruktion verbreiten wollen, sei nur noch erwähnt, dass die Füllung der Maschine mit Kohlensäure in der Weise erfolgen soll, dass man dem Saugraume der Pumpe durch ein Ventil Kohlensäure von beliebiger Spannung zuführt. Aus der Maschine entwichene Kohlensäure kann auf diese Art jederzeit aus einem Ballon mit flüssiger Kohlensäure ersetzt werden.

Auch F. Windhausen in Berlin hat eine Kohlensäuremaschine konstruirt, deren Bau von A. Riedinger in Augsburg lebhaft betrieben wird.

Riedinger liefert jetzt die Maschinen in liegender Konstruktion mit trockenen, ohne Sperrflüssigkeit arbeitenden, doppeltwirkenden Kompressoren, bei welchen angegeben wird, dass in Folge des aus den geringen Dimensionen entspringenden geringen Kolbengewichts ein ovales Auslaufen des

Wind-
hausen's
Kohlen-
säure-
maschine
von
L. A. Rie-
dinger in
Augsburg.

Stopfbüchse von Riedinger. Cylinders und der Stopfbüchse ausgeschlossen sei. Es wird angegeben, dass die Kolbenliderung ebenso wie die Stopfbüchsenpackung nur nach

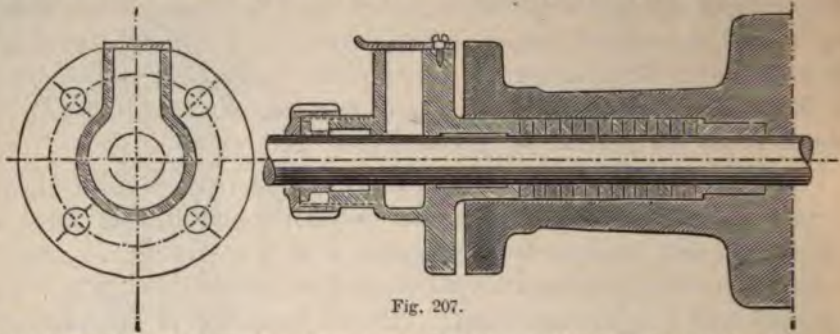


Fig. 207.

jeder Betriebsperiode einmal ausgewechselt zu werden braucht. Fig. 207 zeigt die beachtenswerthe Konstruktion der Stopfbüchse. Hieran schliessen sich folgende Patente:

Kühlung der Kohlensäure von Raydt.

Von W. Raydt, Kühlung der Kohlensäure während der Kompression in Fig. 208, und zwar in der Schlange *B* statt in dem Kompressor *A*. Wegen der grösseren Oberfläche und der dünneren Wandung der Schlange findet die Kühlung leichter statt.

Druckregulator von Riedinger.



Fig. 208.

Von L. A. Riedinger, ein Druckregulator *B* in Fig. 209, um die Differenz zwischen der Verdampfungs-temperatur innerhalb der Refrigeratorschlangen und der gewöhnlich einige Grad höher liegenden Temperatur der die Verdampferschlangen umgebenden abzukühlenden Flüssigkeit konstant zu erhalten. Derselbe ist einerseits mit einem geschlossenen Gefäss *G*, das zum Theil mit Kälteflüssigkeit gefüllt ist, andererseits mit den Verdampferschlangen *S* durch die Rohrleitungen *g* und *s*, sowie durch ein Rohr *c* mit dem Sammelraum für die in der Maschine arbeitende Kälteflüssigkeit, dem Kondensator, verbunden. Vor der Mündung des letzteren Rohres im Druckregulatorgehäuse liegt ein Ventil *v*, welches an dem um das Gelenk *o* schwingenden Hebel *h* angebracht ist, auf den einerseits die Feder *f*, andererseits der als Differenz zwischen dem Vorder- und Hinterdruck auf die Membrane *m* sich ergebende Druck wirkt. Als Vorderdruck auf die Membrane wirkt der Verdampfungsdruck in den Refrigeratorschlangen *S*, welche durch das Rohr *s* mit dem Gehäuse des Druckregulators verbunden sind, während als Hinterdruck der Druck des Dampfes wirkt, der sich aus der in dem Gefäss *G* eingeschlossenen Kälteflüssigkeit

entwickelt und durch Rohr *g* hinter die Membrane geführt wird. Ist die Feder *f* von aussen eingestellt worden, so muss sich der Druck in den Refrigeratorschlangen selbstthätig derart herausbilden, dass die Differenz zwischen ihm und dem Druck im Gefäss *G* konstant bleibt, was auch das Konstanterhalten der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Flüssigkeiten zur Folge hat.

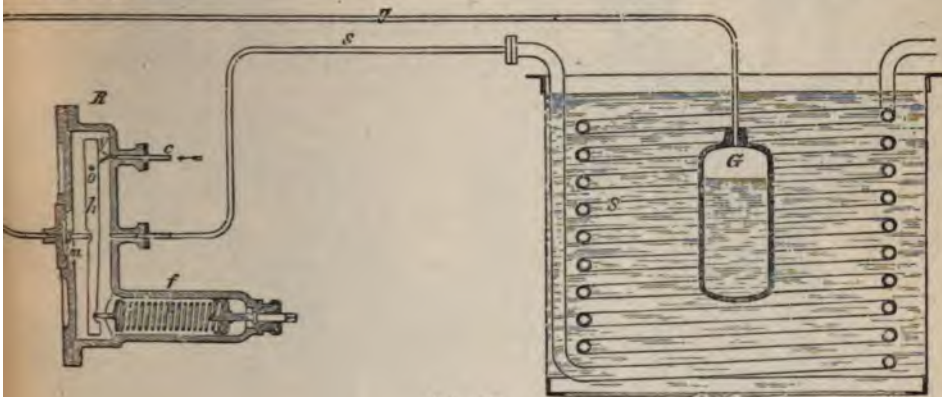


Fig. 209.

Von Sedlaczek ist ein Kompressor für Kohlensäure konstruirt, dessen Vorzüge sich nicht erkennen lassen.

Sedlaczek's Kompressor.

Die Vereinigte Pommer'sche Eisengiesserei und Halle'sche Maschinenbauanstalt, früher Vaass & Littmann, bauen jetzt ebenfalls Kohlensäure-Kältemaschinen, an denen das patentirte Flüssigkeitseinspritz-

Kohlensäuremaschine von Vaass & Littmann in Halle a. S.

ventil zu erwähnen ist, das den Zweck verfolgt eine energische Kühlung der Cylinderwandungen, sowie des Kolbens des Kompressors zu erzielen. In dem einen Cylinderdeckel ist in Fig. 210 das Ventil *A* angeordnet, welches sich öffnet und Kohlensäure in den

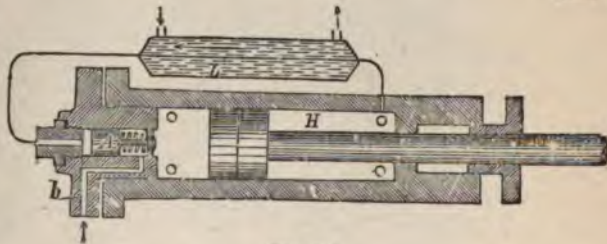


Fig. 210.

Cylinder einströmen lässt, wenn durch Bewegung des Kolbens der Druck in *H*, der durch die gekühlte Zweigleitung *L* auf *A* fortgepflanzt war, grösser wird, als der durch Kanal *b* mit dem Kondensator in Verbindung stehende Druck der Kohlensäure beträgt. Die einströmende Kohlensäure bindet durch ihre Expansion einestheils Wärme, wodurch der Kompressor gekühlt wird, andererseits treibt sie den Kolben so lange vorwärts, bis die Spannung auf die Verdampferspannung gesunken ist. Diese Einrichtung vermindert natürlich den Kälteeffekt der Maschine.

Flüssigkeits-Einspritzventil von Vaass & Littmann.

Es werden die vermeintlichen Vorzüge der Kohlensäure gegenüber Ammoniak von den Lieferanten der Kohlensäuremaschinen hervorgehoben, hauptsächlich darin gipfelnd, dass die Kleinheit der Kompressoren, die Geruch- und Gefahrlosigkeit der Kohlensäure, die Verwendbarkeit des

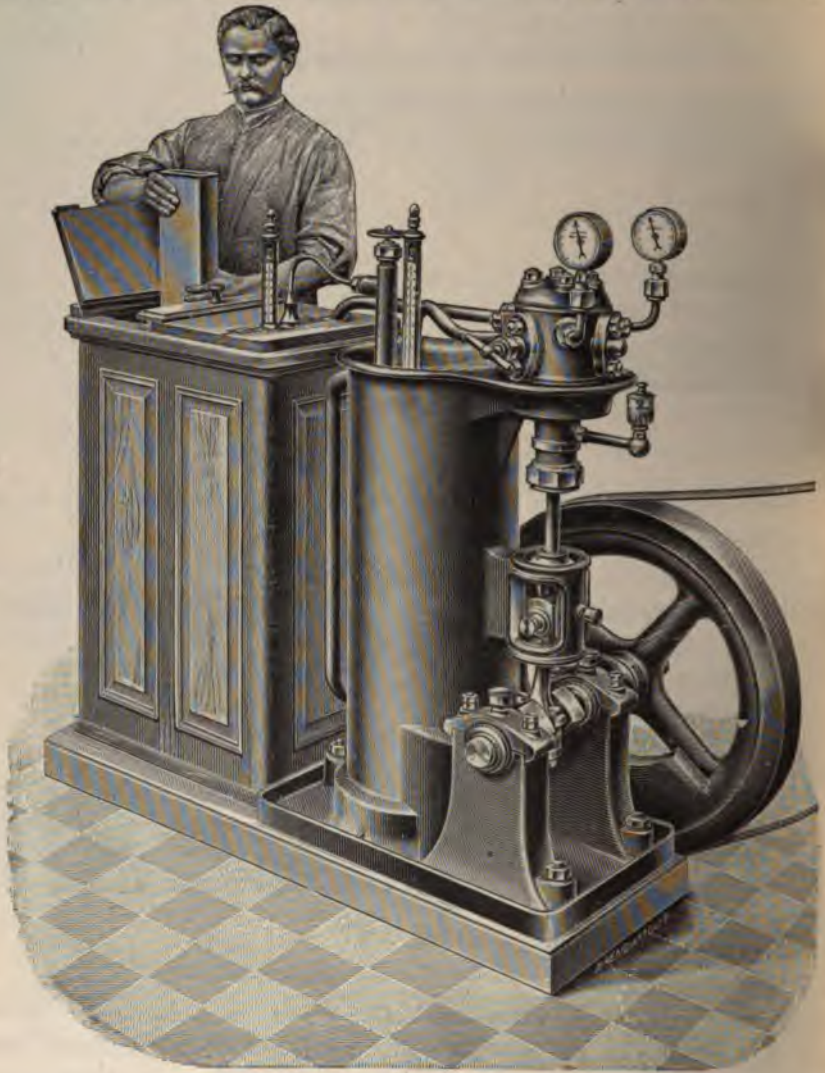


Fig. 211.

gebrauchten Kühlwassers, auch wenn es mit Kohlensäure geschwängert ist, Vortheil bringen. Demgegenüber stehen aber die Nachteile der starken Erhitzung des Kompressors in Folge der ausserordentlich starken Kompression, die abnorm hohen Spannungen, die Unmöglichkeit in Folge der Geruchlosigkeit undichte Stellen aufzufinden, und endlich der

ausserordentlich hohe Effektverlust von 48 Proc. (s. S. 116), der so lange bestehen bleibt, als die Fabrikanten dieser Maschinen nicht dazu übergehen, Expansionscylinder zwischen Kondensator und Refrigerator ein-

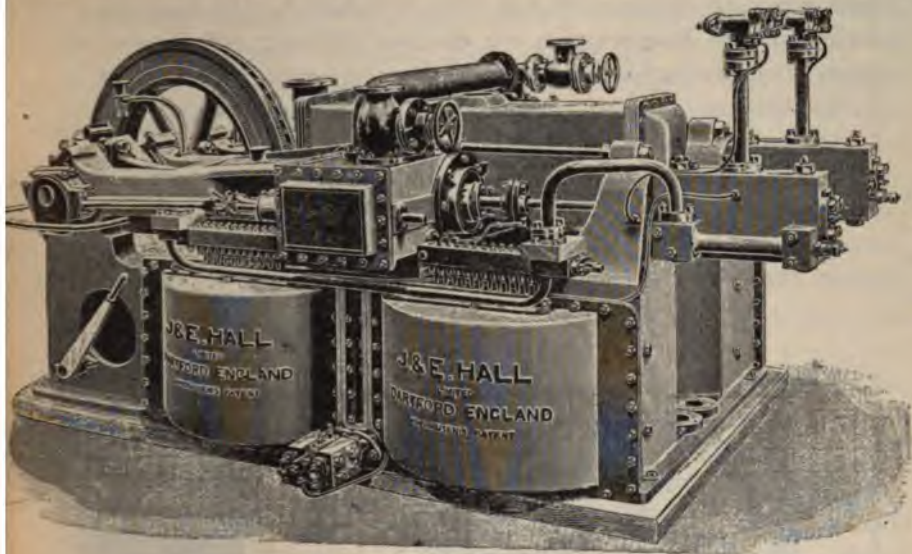


Fig. 212.

zuschalten. Es hat sich bei den so ausserordentlich zahlreichen Ausführungen von Ammoniakmaschinen noch nirgend herausgestellt, dass Ammo-



Fig. 213.

niak irgend einen schädlichen Einfluss übe, und auch in Amerika, wo fast allgemein die Ammoniak-Expansionsapparate direkt zur Abkühlung der Kühlräume etc. dienen, ist eine schlechte Erfahrung noch nicht gemacht worden.

Kleine Kohlen-
säure-
maschine
von Vaass &
Littmann.

Eine kleine Kohlenäuremaschine für Kleinbetrieb wird von Firma Vaass & Littmann in Halle geliefert, die in 3 Nummern für 5, 10 und 25 kg Eisproduktion pro Stunde hergestellt wird. Die Fig. 211 nach dem Vorhergegangenen von selbst verständlich. Die Maschinen werden auch statt der Eiszerzeugung zur direkten Kühlung von Eisschränken benutzt. Der Kraftverbrauch der 3 Maschinenummern wird zu $\frac{1}{2}$ resp. 1 und 2 Pferdekraften angegeben, und der Kühlwasserverbrauch von 10° C. zu $\frac{3}{4}$, $1\frac{1}{2}$ resp. 3 hl pro Stunde.

Wind-
hansen's
Kohlen-
säure-
maschine
von
J. & E. Hall
in Dartford.

In England haben sich die Kohlenäuremaschinen von J. & E. Hall ein sehr grosses Gebiet, besonders für den überseeischen Fleischtransport errungen, und müssen dieselben hier Erwähnung finden. Sie haben dies wegen ihres Uebergewichts in der Leistung über die bis dahin gebräuch-

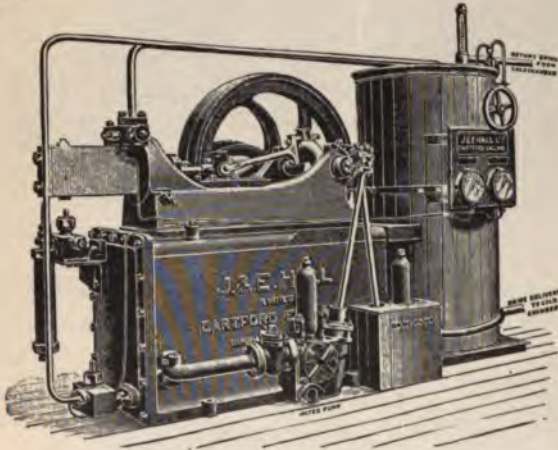


Fig. 214.



Fig. 215.

Schiffsküh-
lung von
J. & E. Hall
in Dartford.

lichen Luftkompressionsmaschinen schnellen Erfolg auf Schiffen gehabt obwohl der Rückgang in der Leistung gerade auf diesen Schiffen, welche die warmen Erdgegenden passiren, und wo die Maschinen dann mit sehr warmem Kühlwasser arbeiten müssen, sehr erheblich wird. Die Fig. 212 stellt eine solche Schiffskühlmaschine von J. und E. Hall dar, und zwar eine mit zwei Kompressoren arbeitende. Auch hier ist die Beschreibung unnötig. Die Maschinen sind zum Transport von 50000 gefrorenen Hammeln sowohl, wie zu geringeren Leistungen gebaut worden. Die Fig. 213 zeigt die Art der Aufstellung in Schiffen und die Art der Lagerung und Schichtung des gefrorenen Fleisches im Schiffskörper. Fig. 214 stellt eine Landmaschine dar. Der Kompressor lagert auf dem Kondensator, während der Refrigerator daneben gestellt ist. Die Fig. 215 zeigt das Modell der kleinen Maschinen. Wie ersichtlich, sind die Konstruktionen sämtlich sehr kompakt, und deshalb beachtenswerth. Sie sind übrige

mit Sicherheitsventilen versehen, um bei den hohen Spannungen Explosionen zu vermeiden. Es kommen aber solche trotzdem vor.

Neuerdings haben sich eine Anzahl von Maschinenfabriken auf den Bau von Kohlensäure-Kompressionsmaschinen gelegt, welche sich vor den mancherlei praktischen Schwierigkeiten wegen der enorm hohen Spannungen in den Maschinen nicht scheuen. Und in der That ist die Technik im Maschinenbau so ausserordentlich in ihren Leistungen vervollkommen worden, dass sie die grössten Schwierigkeiten zu überwinden in der Lage ist. Freilich die sonst mehrfach erörterten ökonomischen Nachtheile der Kohlensäure, namentlich in der Nähe des kritischen Punktes derselben, bleiben bestehen. Wenn man von dem grösseren Arbeitsgebrauch der Kohlensäuremaschinen absieht, so können sie in unseren mässigen Klimaten immerhin beachtenswerth erscheinen. Der Bau liegt zum Theil in sehr guten Händen. In mancherlei Gewerben ist, freilich unberechtigterweise, die Angst und Sorge vor Anwendung von Ammoniak oder schwefliger Säure wegen ihres Geruchs so gross, dass man alle Uebelstände der Kohlensäuremaschinen hinnimmt. Diese Bemerkung bezieht sich durchgängig auf Gewerbe der Nahrungsmittelbranche, wie Chokoladefabriken, Molkereien, Schlachtereien, bei denen man solcher Sorge begegnet, obwohl in Bierbrauereien und Schlachthäusern etc. genugsam erwiesen ist, wie unberechtigt die Sorge ist. Die Medien zur Kälteerzeugung circulieren in der geschlossenen Maschine, und gelangen nicht ins Freie. Die mehreren Tausende von Maschinen in Bierbrauereien haben keinerlei Uebelstände gezeigt, obwohl gerade Bier geneigt ist jeden Geruch anzuziehen.

Kritischer
Punkt der
Kohlensäure.

Ver-
wendung
der Kohlen-
säure-
maschinen.

Aber man ist überall gezwungen mit dem Vorurtheil zu rechnen, und daher haben auch die Kohlensäuremaschinen volle Existenzberechtigung. Wegen der zunehmenden Ausführung derselben soll darauf specieller eingegangen werden, als in früheren Auflagen dieses Buches geschehen ist.

Für Kohlensäuremaschinen kann das Material Eisen und Stahl sein. Vorwiegend wird wegen der hohen Spannungen Stahl angewendet. Die Verdampfer werden ebenso wie die Kondensatoren aus geschweissten Rohrschlangen hergestellt. Die Kompressoren sind von Stahl, mit Kühlmantel versehen. Wegen der grossen Dichtigkeit der Kohlensäure erhalten sie sehr geringe Dimensionen, was bei der starken Spannung wegen der Explosionsgefahr beachtenswerth ist, die dadurch herabgemindert wird. Näheres hierüber ist aus den theoretischen Erörterungen über Kompressionsmaschinen zu ersehen.

Wegen des reichlichen Entweichens von Kohlensäure durch Verschraubungen, Stopfbüchsen etc. pflegt Vorsorge zu leichtem Nachfüllen getroffen zu sein.

Grosse
Kohlen-
säure-
maschine
von
Vaass &
Littmann.

Die Fig. 216 und 217 zeigen einen grossen Kohlensäurekompressor mit angekuppelter Dampfmaschine von der Halle'schen Maschinenbauanstalt

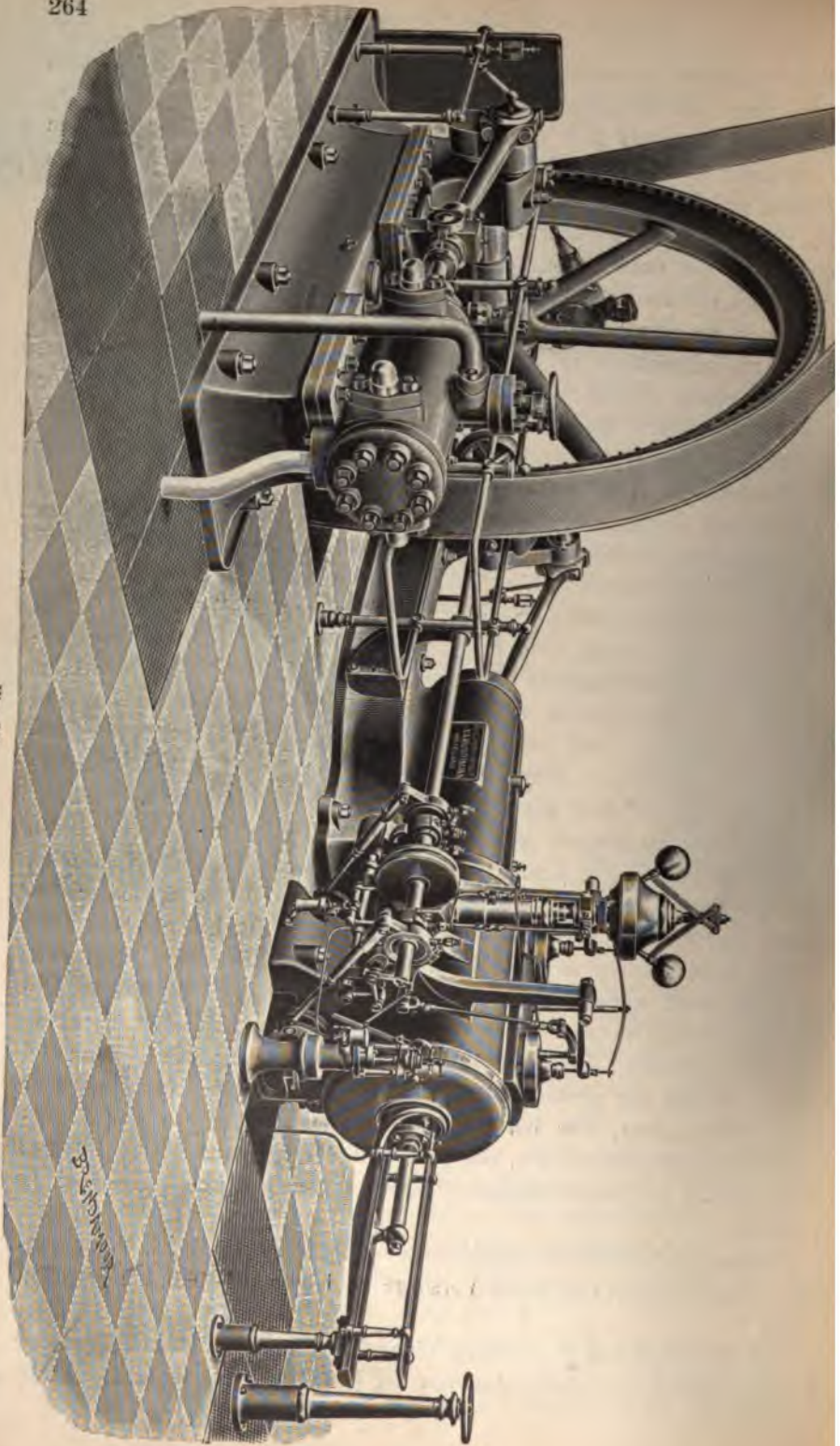


Fig. 216.

W. G. & C. S. 1883

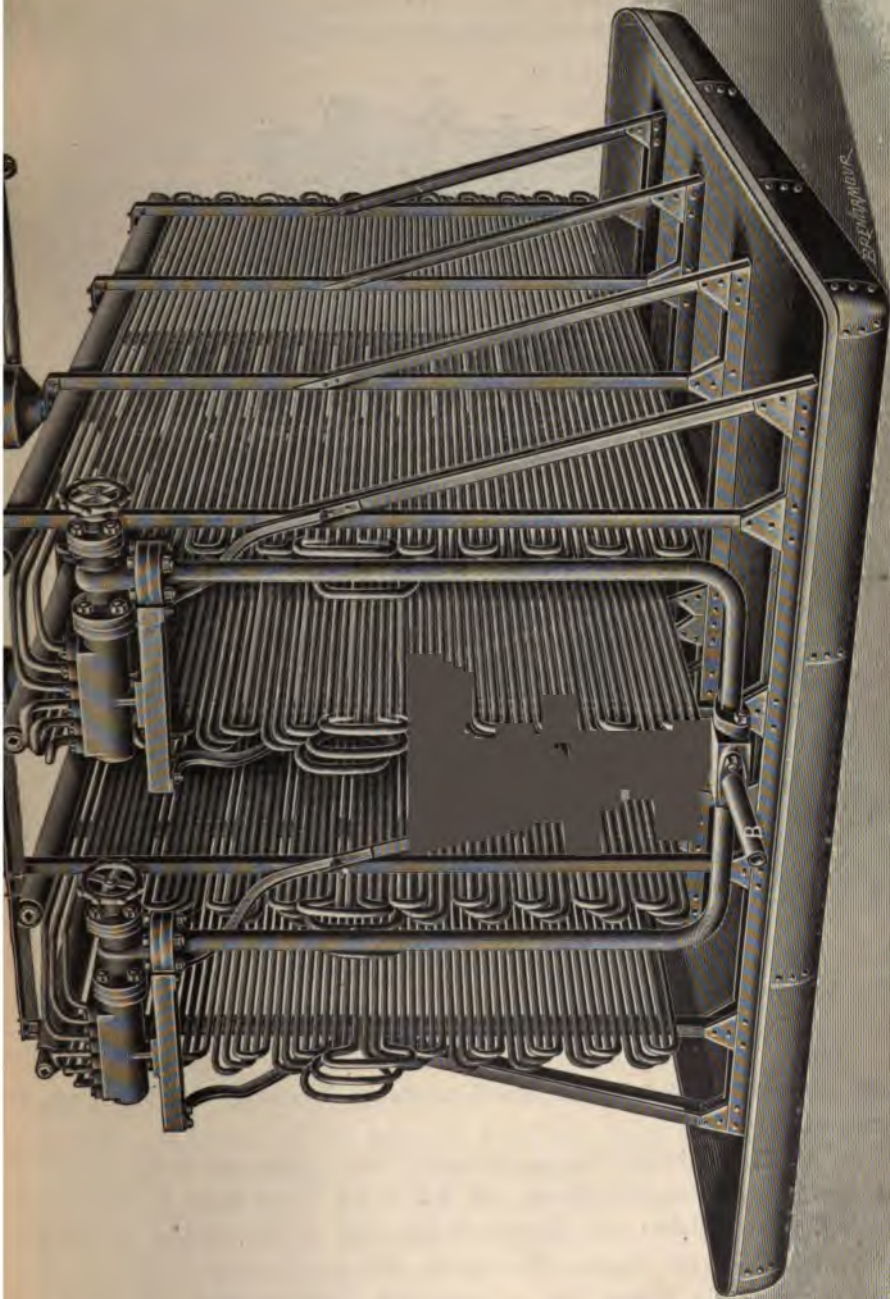


Fig. 217.

vorm. Vaass & Littmann in Halle a. S. und dem dazu gehörigen Berieselungskondensator. Man erkennt sofort, wie wenig äusserlich diese Maschinen von den andern Kompressions-Maschinensystemen abweichen. Dagegen tritt

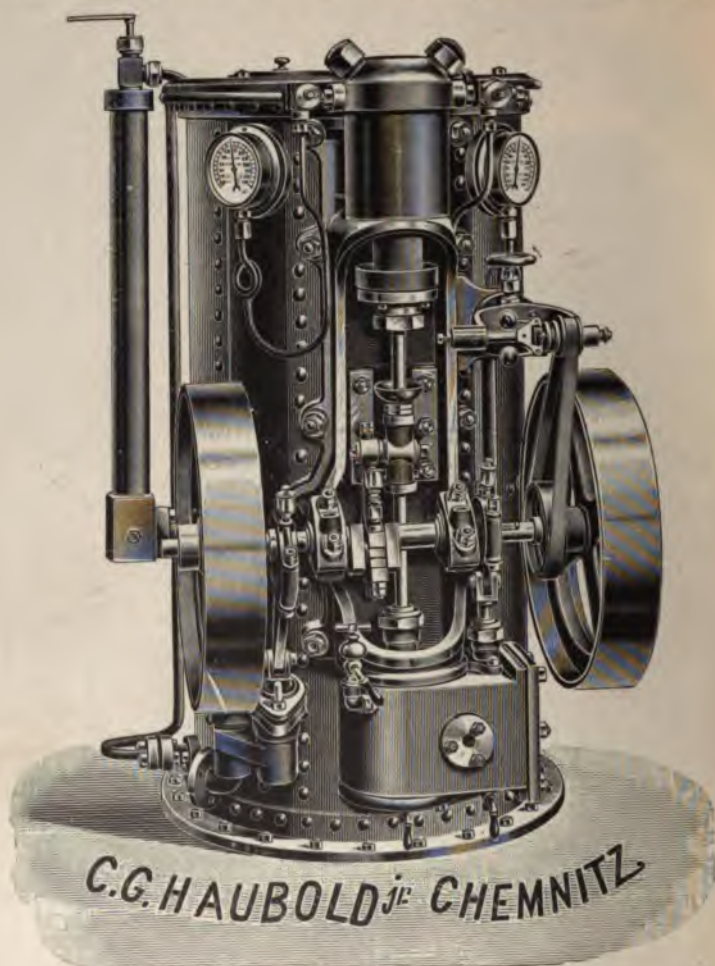


Fig. 218.

die erforderliche Stärke der Maschinentheile, besonders der bewegten, ^{vor} Augen.

Kohlen-
säure-
maschine
von
C. G. Haubold jr. in
Chemnitz.

C. H. Haubold jun. in Chemnitz baut vorzugsweise kleine Kohlen- säure-Kompressionsmaschinen, von denen ein Kompressor in Fig. 218 abgebildet ist. Ueber die Kondensatoren und Refrigeratoren (Verdampfer) ist nicht viel zu sagen. Sie haben die gewöhnliche Form aus Rohrschlangen. Die Firma hat vorzugsweise Einrichtungen für Chokoladefabriken gebaut, auf die ich später zurückkomme. Fig. 219 zeigt eine vertikale Konstruktion einer kleinen Maschine. In ähnlicher vertikaler

Anordnung werden jetzt alle Systeme vielfach gebaut. Die Schmierung geschieht durchweg mit Glycerin, welches, wenn rein, keine Verunreinigung der inneren Rohrwände herbeiführt.

Der Kompressor wird meistens aus Stahlguss, in einem Stück mit den Saug- und Druckkanälen gegossen, hergestellt. Auch die Stopfbüchse wird angegossen, während an der hinteren Seite der Cylinder sowohl wie die angegossenen Kanäle durch einen gemeinschaftlichen Deckel verschlossen

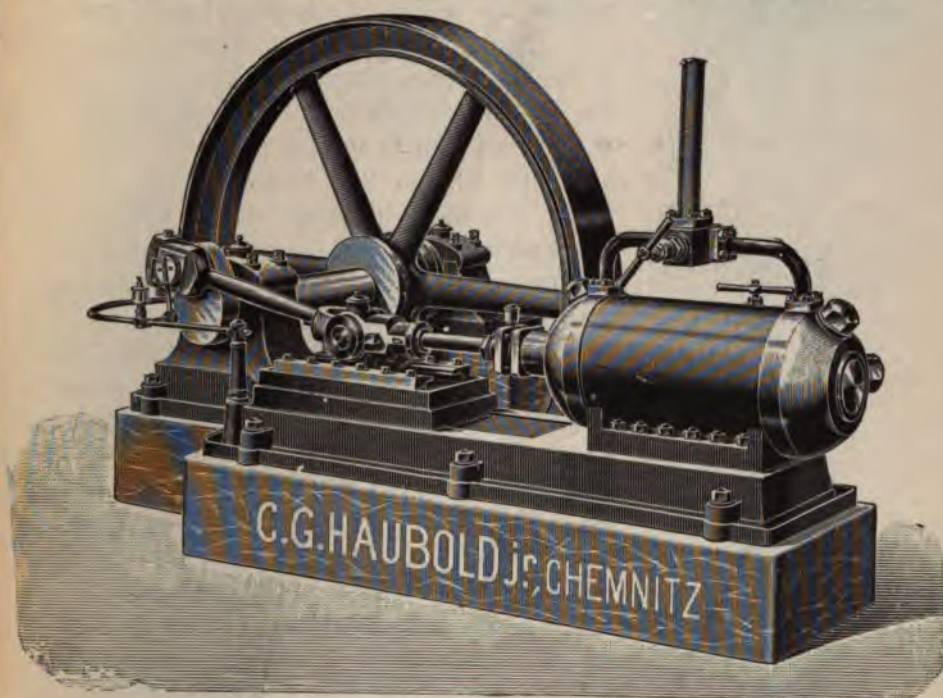


Fig. 219.

werden. Grösste Sorgsamkeit ist bei der Ausführung nothwendig wegen der grossen Druckspannungen auf beiden Cylinderseiten. Die Stopfbüchse (Fig. 220) muss aussergewöhnlich lang und möglichst mit einer Laterne in der Mitte versehen sein, welche mit Glycerin in der bei Ammoniakmaschinen sonst üblichen Weise gefüllt wird, und deren innerer Raum in Verbindung mit dem Saugkanal des Kompressors steht, um darin stets den Saugdruck zu erhalten. Die Ringe in den Stopfbüchsen können von Gummi mit Baumwolleinlagen sein oder sonstigem Material; sie können auch von Metall in üblicher Form als Metallpackungen hergerichtet werden. Vielfach werden auch Lederstulpen (Fig. 221) angewendet, sowohl in den Stopfbüchsen, wie zur Liderung der Kolben. Hinter die Lederstulpen pflegt man in Stopfbüchsen Gummiringe mit Baumwolle zu legen. Man thut aber gut, auch dabei die Glycerinlaterne *L* anzubringen. Diese erwähnten

Konstruktionen von
Kohlen-
säure-
maschinen.

Packungen sind nur bei solchen Kohlensäuremaschinen anzuwenden, welche mit gesättigten Dämpfen arbeiten, denn die Ueberhitzung der Dämpfe würde die Packungen bald zerstören. In letzterem Falle entspricht allein Metallpackung.

Kohlensäuremaschinen findet man viel mit Kühlmänteln um den Kompressor, um mit grösserer Sicherheit die Ueberhitzung der Dämpfe zu vermeiden, die bei der Kompression sonst eintritt.

Häufiger findet man Schlamm-töpfe (Fig. 222) in der Saugleitung eingeschaltet, mit deren Hülfe das Glycerin abgelassen werden kann, das in der Maschine im Laufe der Zeit etwa schmierig geworden ist. In den kleinen Töpfen ist ein feines Haarsieb eingesetzt, durch welches die Kohlensäuredämpfe auf ihrem Wege nach dem Kompressor streichen und die Verunreinigungen zurückgehalten werden.

Die Ventile sind fast immer einsitzige Teller-ventile, deren Sitz mit einer Büchse von möglichster Länge verbunden ist. In derselben befindet sich die Führung, wie in den Fig. 223 und 224. Häufig ist die Führung eingesetzt, wie in Fig. 225 und 226, in diesem Falle aber nur los nicht verschraubt. Eine Feder drückt die Ventile auf ihren Sitz, sowohl die Saug- wie die Druckventile. Die Abbildungen geben das Näher an. Die Konstruktion ähnelt ganz ausserordentlich den bei anderen Kompressionsmaschinen g

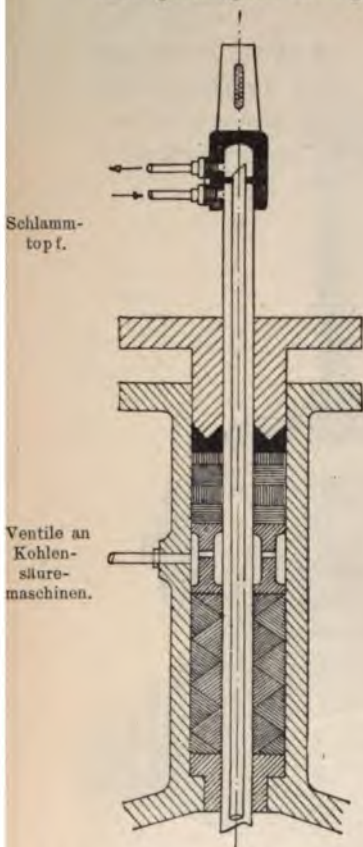


Fig. 220.

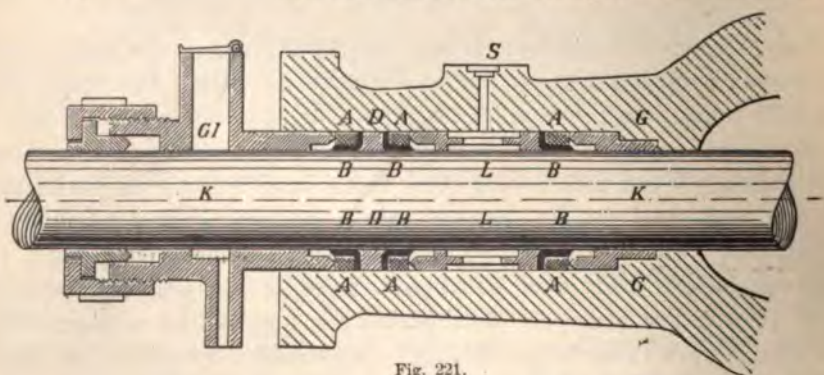


Fig. 221.

bräuchlichen Ventilen. Sie bestehen gewöhnlich aus feinstem Tiegelsstahl, die Führungen und Büchsen aus Bronze.

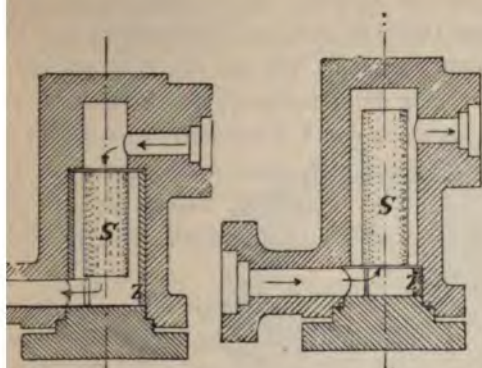


Fig. 222.

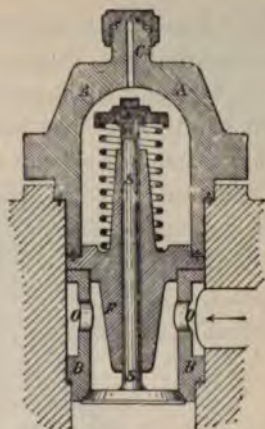


Fig. 223.

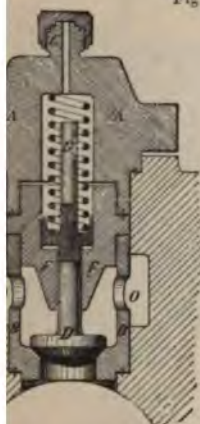


Fig. 224.

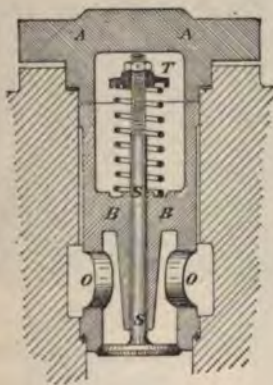


Fig. 225.

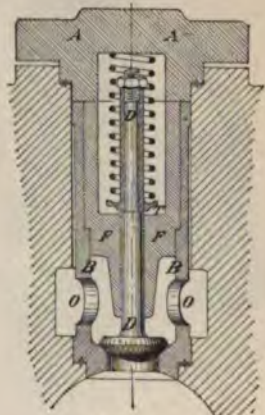


Fig. 226.

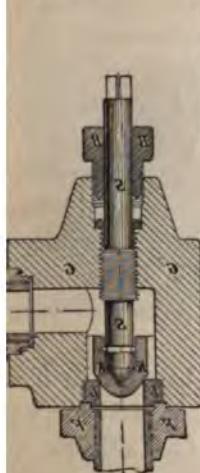


Fig. 227.

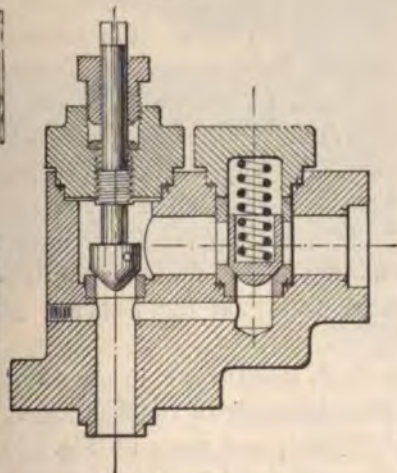


Fig. 228.

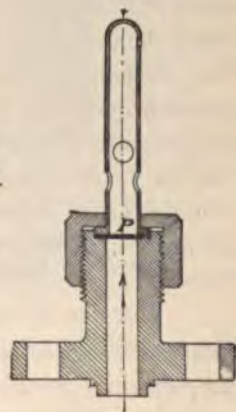


Fig. 229.

Abschluss-
ventile bei
Kohlen-
säure-
maschinen.

Fig. 227 zeigt den Durchschnitt einer Art häufig angebrachter Abschlussventile. Wegen zuweilen eintretender hoher Spannungen, namentlich im Falle nicht rechtzeitigen Oeffnens solcher Abschlussventile, werden sie häufig mit Sicherheitsventilen versehen, wie die Fig. 228 angiebt. Die entweichende Kohlensäure leitet man dann entweder ins Freie oder in den Kondensator oder Verdampfer, je nach den Umständen. Man findet solche Sicherheitseinrichtungen auch so konstruirt, dass an Stelle eines Ventils eine Gusseisenplatte *P* eingeschraubt ist (Fig. 229), welche so schwach ist, dass sie bei etwa 150 Atmosphären zertrümmert wird. Die Kohlensäure strömt dann ins Freie.

Sicherheits-
einrich-
tungen
an Kohlen-
säure-
maschinen.

Kohlen-
säure-
maschinen
von Escher,
Wyss & Co.
in Zürich.



Fig. 230.

Die vorstehenden Stopfbüchsen- und Ventilzeichnungen sind der Zeitschrift für die gesammte Kälteindustrie entnommen.

Die Hauptvertreter im Bau von Kohlensäure-Kühlmaschinen sind die beiden Firmen L. A. Riedinger in Augsburg und Escher, Wyss & Co. in Zürich.

Von letzterer Firma zeigen die Fig. 230 bis 233 Abbildungen verschiedener Grössen und Konstruktionen, die dem Fachmanne ein genügendes Bild davon geben.

Es wird besonders die Geruchlosigkeit der Kohlensäure und die geringere Raumbeanspruchung der Maschine von den Erbauern hervor-

gehoben, mit mehr oder weniger Recht. Die patentgeschweissten schmiedeeisernen Schlangenrohre in Refrigerator und Kondensator sind aus einem Stück hergestellt, die wenigen Rohrverbindungen sind leicht zugänglich. Das Gestell des Kompressors ist aus einem Stück gegossen, die Compressionscylinder, sowie alle Organe und Verbindungen, durch welche Kohlensäure circulirt, sind ausreichend stark aus gutem Material hergestellt, um die hohen Spannungen der Kohlensäure auszuhalten. Sie bieten bei den höchsten Spannungen noch fünfundzwanzigfache Sicherheit gegen Zerreißen. Im Ganzen kann auf die früheren Bemerkungen verwiesen werden.

Kohlen-
säure-
maschinen
von
L. A. Rie-
dinger in
Augsburg.

Von der Firma L. A. Riedinger in Augsburg bin ich in die Lage gesetzt, einige Arbeitszeichnungen zu veröffentlichen, die verkleinert photographirt hier dargestellt sind, und zwar ist Fig. 234 und 235 die Ansicht eines Kompressors, Fig. 236 der Längsschnitt durch einen Verdampfer.

Die Fig. 237 bis 240 zeigen einen neuen Vorschubmechanismus für grosse Eisgeneratoren, und die Fig. 241 bis 243 stellen einen Luftkühlapparat dar mit offener Salzwasserberieselung für Schlachthof-Kühlanlagen.

Vorschubmechanismus für Eisgeneratoren.

Luftkühler mit offener Salzwasserberieselung.

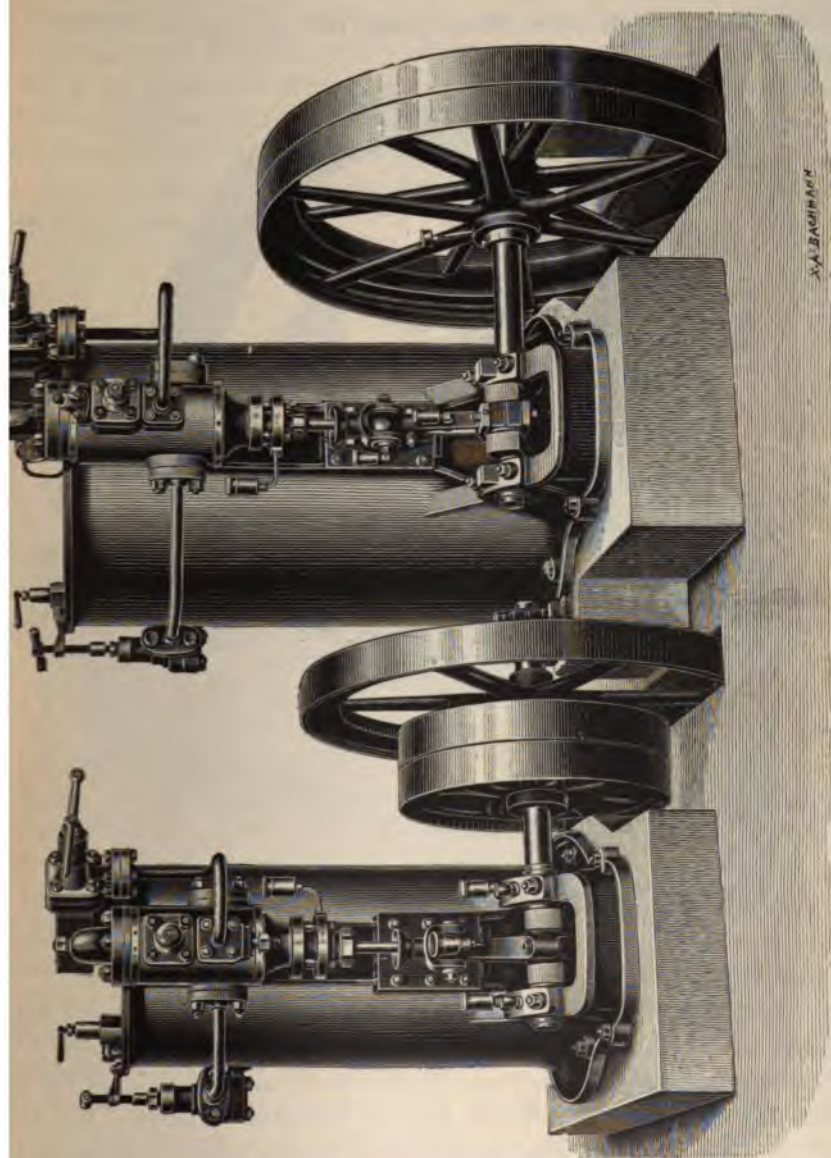


Fig. 231.

Kohlensäuremaschinen mit stufenweiser Kompression

Von Gebhardt & König in Nordhausen werden Kohlensäuremaschinen mit stufenweiser Kompression ausgeführt, an denen festgestellt sein soll, dass bei einer Temperatur von -15° C. im Refrigerator und

pression von Gebhardt & König in Nordhausen.

dem sonst bei eincylindrigen Kompressoren zur Verwendung kommenden gleich grossen Wasserquantum nur ein beständiger Kondensatordruck von 54,5 bis 55,5 Atm. erzielt würde. Mit eincylindrigen Kompressoren waren stets 59 bis 60 Atm. vorhanden.

Es wäre folglich eine Mehrleistung mit geringerem Kraftaufwand erzielt.

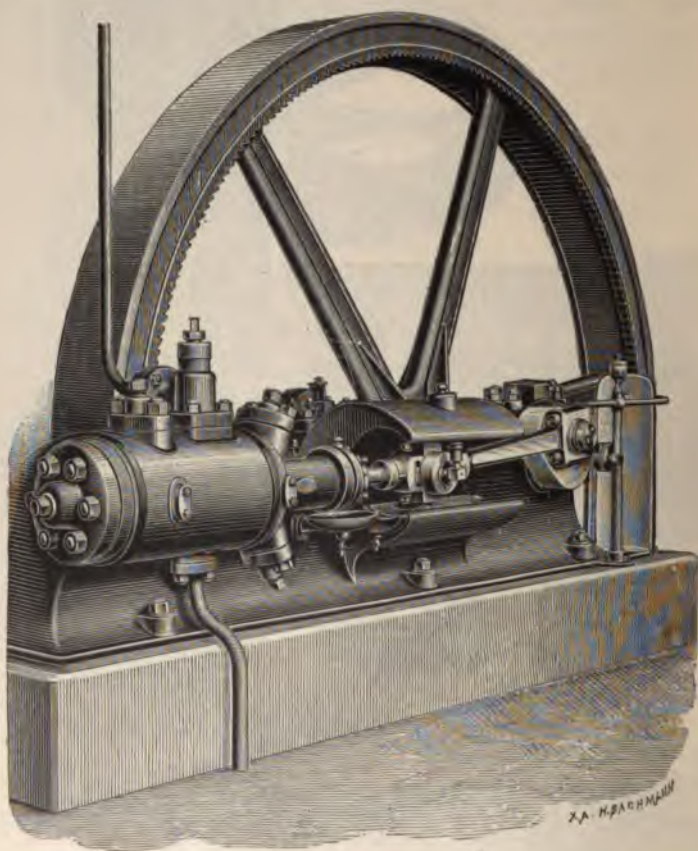


Fig. 232.

Maschine
von Fleuss.

Die Maschine von H. A. Fleuss in Newton auf der Insel Wight arbeitet mit Pentan oder Gasolin, welches in dem Verdampfer *J*, in welchem die Eiszellen hängen, mit Hilfe einer Luftpumpe *B*, siehe Fig. 244, verdampft, und auf diese Weise Eis in denselben erzeugt. Die Luftpumpe *B* steht in einem geschlossenen mit Wasser gefüllten Kessel *K* mit Dom *D*. Die Schlitz *S* der Pumpe münden frei in den inneren Raum von *K* aus. Die Saugseite der Pumpe steht durch Rohr *H*, welches in dem Gefässe *M* am Boden desselben ausmündet, und durch das Rohr *N* mit dem Verdampfer in Verbindung, so dass sie beim Hochgange des

Kolbens die Pentan- oder Gasolindämpfe ansaugt. Beim Niedergange werden die Dämpfe zur Flüssigkeit komprimirt, welche durch ein Druckventil in den inneren Raum von *H* übergeht, in welchem sie wegen des leichteren specifischen Gewichts an die Oberfläche des Wassers im Dome *D* steigt. Von hier aus tritt die Flüssigkeit durch den Regulirhahn *L*¹ zur Wiederverdampfung in den Refrigerator *J*. Bei der höchsten Stellung des Kolbens tritt durch die Schlitz *S* ein geringes Quantum Wasser unter denselben, welches das Saugventil so weit bedeckt, dass der schädliche Raum der Pumpe nicht durch Flüssigkeitsdämpfe, sondern von Wasser angefüllt ist. Auch die Kolbenstange in der Stopfbüchse wird mit Wasser in Wasserchalen abgedichtet.

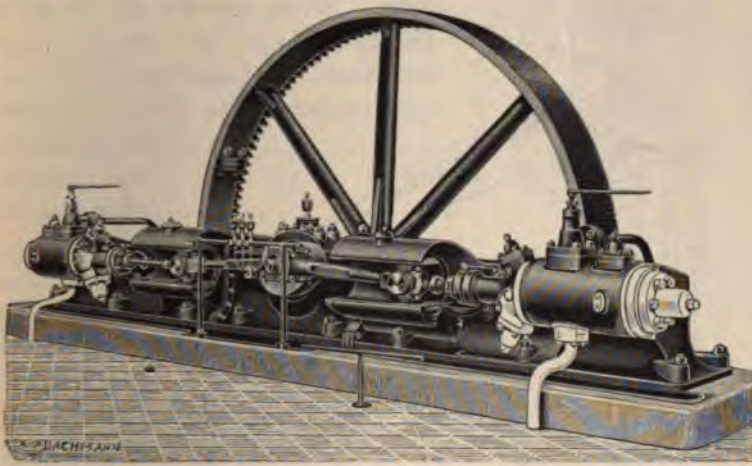


Fig. 233.

Auch mit Schwefelkohlenstoff existirt eine Kompressionsmaschine von Franz Windhausen, von welcher wir in Fig. 245 eine Abbildung geben. *A* ist der Verdampfer, *B* der Kompressor, *C* der Kondensator. Der Schwefelkohlenstoff verdampft im Verdampfer *A* bei einem Druck von etwa 0,1 Atmosphäre. Die noch nicht verdampfte Flüssigkeit schlägt sich in der Dome *G* auf einer spiralförmigen Mantelwand nieder, während die Dämpfe durch das Rohr *H* von der Kompressorpumpe angesaugt werden mittels der Saugventile *b* und *b*₁. Die Dämpfe werden dann auf 0,7 bis 1 Atmosphäre komprimirt und treten durch die Ventile *c* und *c*₁ und die Rohrleitung *J* in den Kondensator. Der Kompressor ist von Kühlwasser umgeben. Der flüssige Schwefelkohlenstoff tritt durch das Ventil *g* in den Verdampfer hinüber.

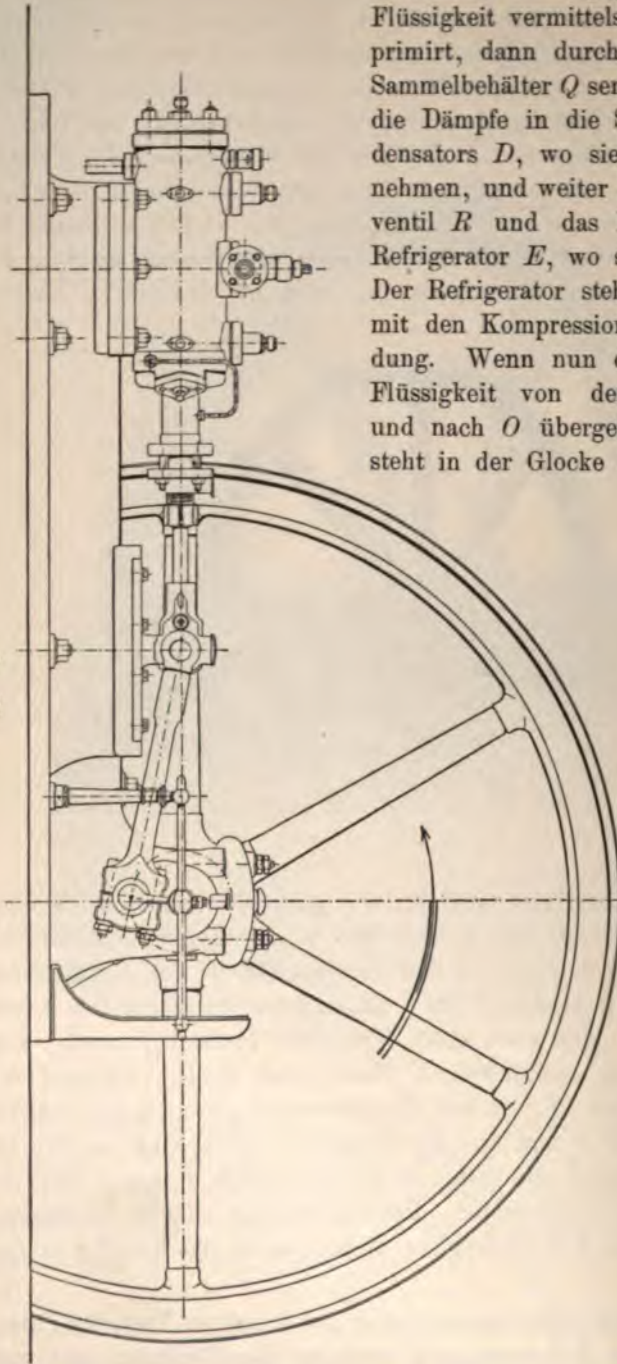
Schwefelkohlenstoffmaschine von Windhausen.

Endlich besitzt die Société anonyme „Le froid“ in Paris ein Patent auf ein Verfahren zur Kälteerzeugung, welches darin besteht, dass man Dämpfe einer leicht flüchtigen Flüssigkeit in Glocken *OO*¹ (Fig. 246) durch

Kompressionsmaschine ohne Kompressor.

Fig. 231.

Krauschitz-Vacuummaschinen.



Eintreiben einer gegen jene indifferenten Flüssigkeit mittelst einer Pumpe komprimirt, dann durch Ventil *s* nach dem Sammelbehälter *Q* sendet. Von dort gehen die Dämpfe in die Schlange *S* des Kondensators *D*, wo sie flüssige Gestalt annehmen, und weiter durch das Schwimmventil *R* und das Rohr *np* nach dem Refrigerator *E*, wo sie expandirt werden. Der Refrigerator steht durch das Rohr *k* mit den Kompressionsglocken in Verbindung. Wenn nun die in *O*¹ enthaltene Flüssigkeit von der Pumpe angesaugt und nach *O* übergeführt wird, so entsteht in der Glocke *O*¹ ein Vacuum. In

Folge dessen wird das Ventil *r*, welches das Rohr *k* verschliesst, gehoben, und die Dämpfe treten aus

E nach der Glocke *O*¹, so dass endlich die Glocke *O*¹ ganz mit Dämpfen angefüllt ist, während *O* ganz voller Flüssigkeit ist. Nunmehr wird ein Schieber des Pumpensystems umgesteuert, so dass die Flüssigkeit wieder von *O* nach *O*¹ befördert wird.

An Georg Krauschitz ist folgende Regelungsvorrichtung an Vacuummaschinen patent-

die den Zweck hat, ein konstantes Vacuum, und dementsprechend bestimmte Temperatur selbst bei ungleichmässiger Beanspruchung der

Kühlmaschine selbstthätig zu erhalten. In einem Cylinder *a* (Fig. 247) bewegt sich ein Kolben *b*, dessen eine Seite beständig mit der atmosphärischen Luft, und dessen andere Seite unter Einschaltung eines Oelkatarakts *c* mit dem Ab-

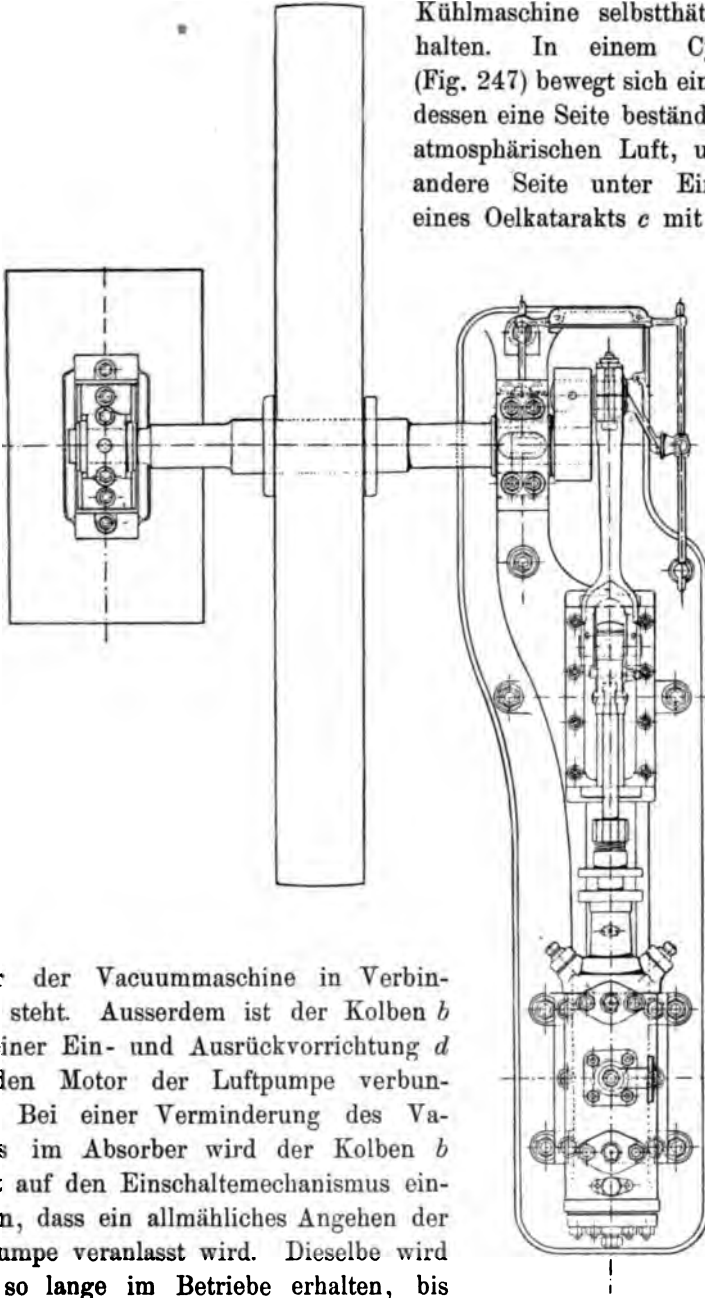


Fig. 265.

ber der Vacuummaschine in Verbindung steht. Ausserdem ist der Kolben *b* mit einer Ein- und Ausrückvorrichtung *d* mit dem Motor der Luftpumpe verbunden. Bei einer Verminderung des Vacuums im Absorber wird der Kolben *b* durch den Einschaltemechanismus eingeschaltet, dass ein allmähliches Angehen der Luftpumpe veranlasst wird. Dieselbe wird in so lange im Betriebe erhalten, bis die normale Luftverdünnung wieder erreicht ist, worauf eine im früheren Sinne umgekehrte Bewegung des Kolbens, durch den Ueberdruck der atmo-

Die Maschinen sind insofern eine Verbesserung der früher beschriebenen Vacuummaschinen, als sie anstatt des reinen Wassers eine Salzsoole

benutzen, auf welche die Luftpumpe zur Erzeugung eines Vacuums wirkt. Dadurch wird nicht Eis erzeugt, sondern nur kalte Salzsoole, die in ähnlicher Weise zur Kühlung in Maschinen oder im Refrigerator zur gleichen Verwendung findet. Es ist dabei, völlig genügend tiefe Temperaturen zu erreichen. Die Sache ist vollständig durch Studium der in Fig. 142 beschriebenen Vacuummaschine. Die durch die Luftpumpe erzeugten Wasserdämpfe treten in einen Absorber, in welchem sie von flüssiger Schwefelsäure absorbiert werden. Die Absorptionswärme wird durch den Säurekühler, in welchem flüssige Schwefelsäure gekühlt wird, abgeführt, aus welchem sie in den Absorber zurücktritt. Ein Theil der Absorptionsflüssigkeit tritt regelmäßig in den Austauscher und Kondensator, wo sie durch direktes Feuer erhitzt wird, um dann gekühlt dem Absorber zuzufliessen.

Die Maschinen werden jetzt in der hiesigen Eisengiesserei und Maschinenbau-Aktiengesellschaft gebaut.

Wegen der Uebelstände kann auf die frühere Beschreibung der Vacuummaschinen verwiesen werden. Fig. 248 giebt eine Abbildung einer Vacuummaschine nebst Dampfmaschine an, welche derselben zugehörig ist.

Die Fig. 249 zeigt eine Handmaschine mit reinem Wasser in der gezeichneten Form, die der auf Fig. 245 abgebildeten der alten Vacuummaschinen entspricht. Näheres über die Constructionen dieser Maschinen

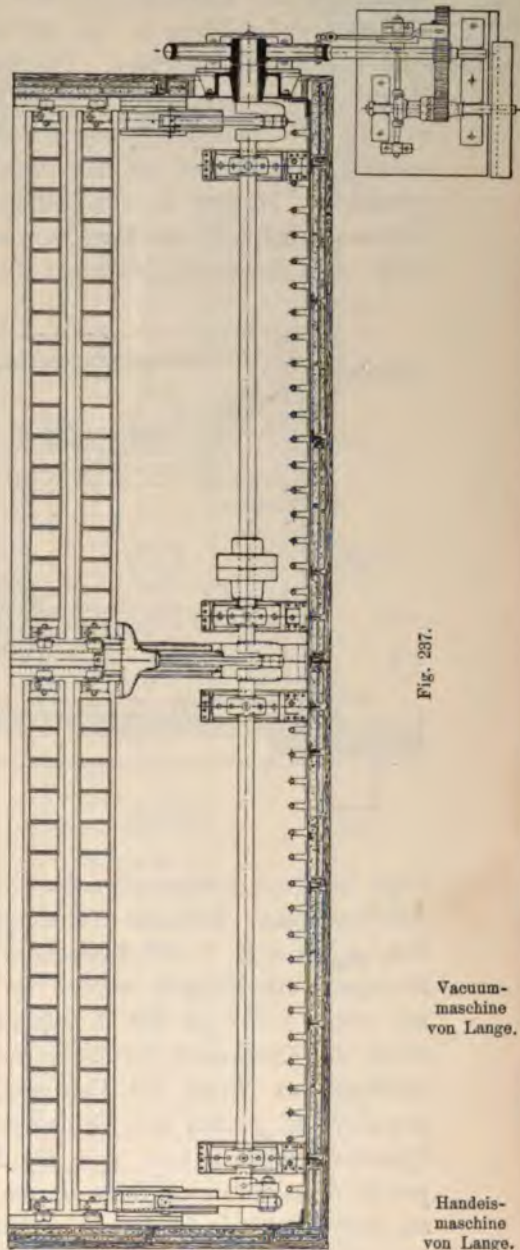


Fig. 237.

Vacuummaschine von Lange.

Handeismaschine von Lange.

Behrend's
Kompressions-
maschine
ohne
Wasserdampf-
maschine.

Der Verfasser dieses Buches hat beachtenswerthe Patente auf eine Kältemaschine genommen, bei der er davon ausgegangen ist, dass bei Benutzung der Kaltdämpfe zur Arbeitsleistung die Kältemaschinen einfacher und billiger in der Ausführung werden, als bei Betrieb durch eine Wasserdampfmaschine. Die Betriebskosten können sich verringern in Folge der geringeren Abkühlungsverluste des Motors, weil der Arbeitsprozess sich zwischen etwa 50° und 20° abspielt, weil ferner Wärmequellen, wie Abgase aus der Dampfkesselfeuerung, warmes Wasser und dergleichen benutzt werden können. Einer bestehenden Kompressions-Kältemaschine wird der Erwärmer angefügt, der mittels Wasserbad beheizt wird. Die Beheizung geschieht durch direkte Feuerung mit Wärmeregulator, oder durch Abgase mittels

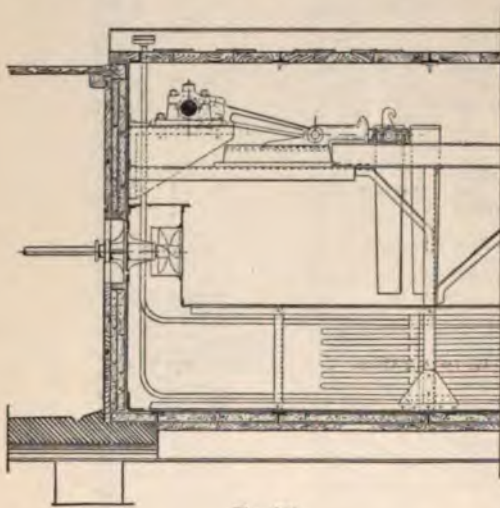


Fig. 238.

einem im Dampfkesselzug angebrachten Wasserreservoirs. In dem Cylinder (Fig. 250) kann auf einer Seite des Kolbens die Kompression stattfinden, auf der anderen Seite die Expansion behufs Arbeitsleistung. Es können auch statt dessen Kompressions- und Arbeitscylinder in Tandemaufstellung hinter einander liegen, wobei beide doppelwirkend arbeiten. Die Einfachheit gegen Wasserdampfmaschinenantrieb springt dabei in die Augen. In einem Cylinder vollführt z. B. die linke Seite die Kompression für die Kältemaschine, die rechte Seite den Arbeitsprozess. Aus dem Verdampfer V treten die Kaltdämpfe durch das Rohr a mit z. B. -10° Temperatur in die linke Cylinderseite Al . Beim Rückgang des Kolbens werden sie komprimirt und gehen durch Rohr b mit etwa $+20^{\circ}$ in den Kondensator, wo sie bei gleicher Temperatur durch das Kühlwasser verflüssigt werden. Die Kälteleistung erfolgt in der gewöhnlichen Weise bei Uebergang der Flüssigkeit durch Rohr und Regulirventil g nach dem Verdampfer V . — Auf der rechten Seite Ar des Cylinders vollzieht sich nun die Arbeitsleistung wie folgt: Die Speisepumpe S saugt durch Rohr d aus dem Kondensator C die Flüssigkeit an und drückt sie in den Erwärmer E . Dort wird sie erwärmt mit entsprechender Temperaturregulirung und verdampft bei z. B. 50° . Die Dämpfe werden nach Ar geleitet, expandiren dort Arbeit leistend bis hinab auf $+20^{\circ}$ und werden dann in den Kondensator C geschoben, wo

falls mittels des Kühlkondensiren. Die Rechnung folgende:

Es wird angenommen, ein Kompressor habe 20 Pferdekräfte im Arbeitsgebrauch, die Verdichtertemperatur sei $t_1 = 2,8$ Atmosphären für die Vakuum, die Kondensatortemperatur sei $t_2 + 20^\circ = 8,5$ Atmosphären.

Die Kompressionsdiagramme mit Mariotte'scher Linie bei 1 Proc. schädlichem Leck und den Temperaturen t_1 und $t_2 + 20^\circ$ eine mittlere Spannung von 3,6 Atmosphären. — Da die wirkliche Kompressionskurve oberhalb liegt als die Mariotte'sche Linie, so vermehrt sich die mittlere Spannung um 1 Proc., der mittlere Verdichtungsdruck ist also $3 \times 1,2 = 3,6$ Atmosphären. Hierbei beträgt der Arbeitsverbrauch 20 Pferdekräfte. — Der Kompressor macht 80 Touren, dann ist

$$\frac{s \cdot p_i \cdot n}{75 \cdot 100} = 20,$$

und s in cm; daher

$$\frac{80}{100} = 20 \text{ Pferdekräfte.}$$

$$\frac{20 \cdot 100 \cdot 75 \cdot 60}{3,6 \cdot 80}$$

= 157500 ccm, oder 315 mm Durchmesser, 400 Hub. Bei einem Leck von 1 Proc. der Leergangswiderstand 5 Proc., so muss die Innendiameter des Cylinders 25 mm betragen. Da für den Kondensator noch eine

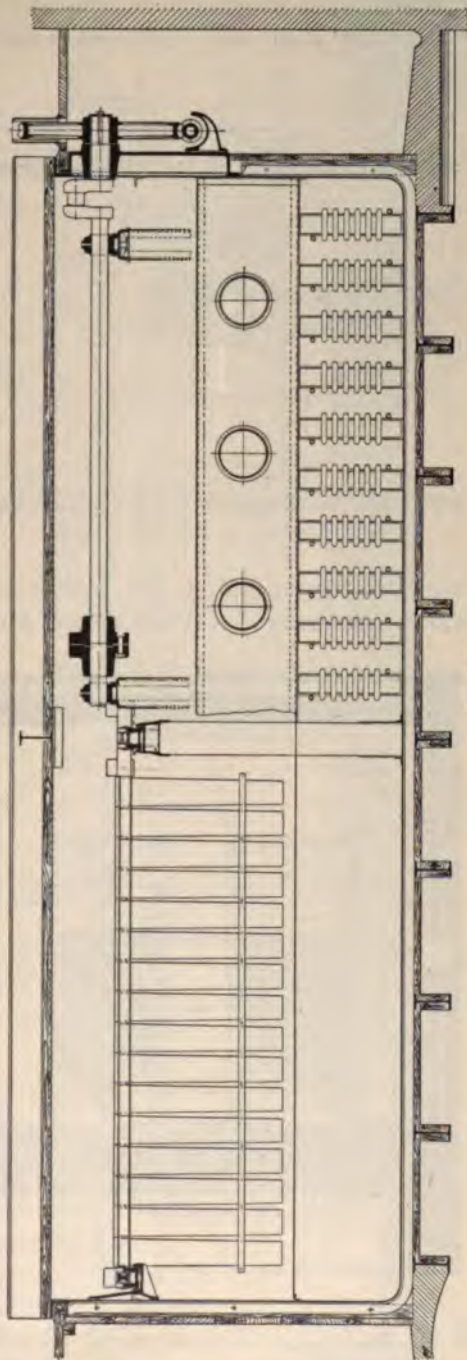


Fig. 239.

Circulationspumpe, und für den Motor noch eine Speisepumpe zu treiben ist, so muss die Arbeitsseite mindestens 30 Pferdestärken indiciren.

Nimmt man eine Anfangstemperatur des Motors von nur $+45^{\circ}$

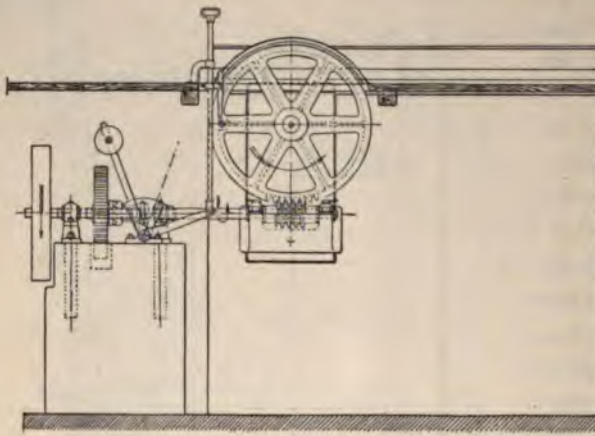


Fig. 240.

= $17,7$ Atmosphären, so hat man bei $+20^{\circ}$ Endtemperatur (= $8,5$ Atmosphären) und 45 Proc. Füllung, 6 Proc. Voraustritt, 6 Proc. Kompression, 2 Proc. Voreintritt und 3 Proc. schädlichem Raume eine mittlere wirksame Spannung von $5,8$ Atmosphären. — Dies liefert eine Leistung von $32,2$ Pferdekraften.

Steigert man die Anfangstemperatur auf $+50^{\circ}$ = $20,2$ Atmosphären, so wird die mittlere wirksame Spannung $7,8$ Atmosphären und die Leistung $43,3$ P.S. — So

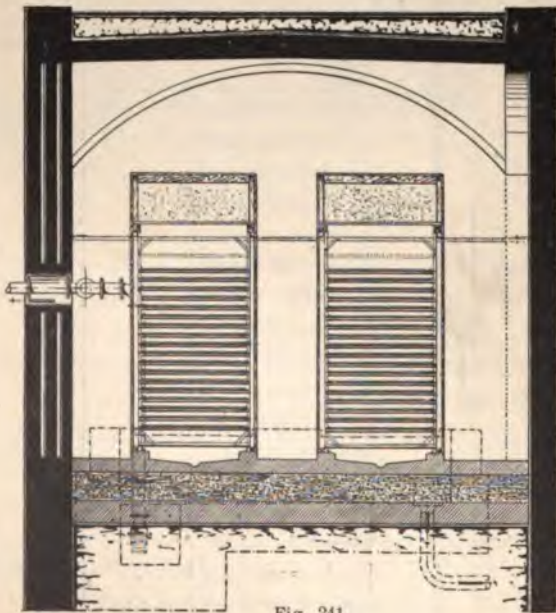


Fig. 241.

kann die Arbeitsleistung leicht gesteigert werden durch geringere weitere Erwärmung oder grössere Füllung.

Wenn man übrigens mit niedrigeren Spannungen arbeiten will, so steht nichts im Wege, in der Maschine schweflige Säure anzuwenden. Die Vereinfachung ist folgende: Es ist nur ein Maschinengestell, ein Cylinder, eine Pleuelstange, eine Kurbel nöthig, alles zusammen montirt, so dass die Aufstellung ausserordentlich einfach ist.

Es ist mehr ein Röhrenapparat (Erwärmer), der den Dampfkessel der Wasserdampfmaschine vertritt und viel billiger ist. Dagegen fällt die ganze

fmaschine mit
 ör fort. Die
 nfachung macht
 Maschinen be-
 rs für Export
 et. Die Ver-
 ng in warmen
 rn ist ein noch
 weites Gebiet,
 e Häuser äh-
 gekühlt wer-
 öchten, wie sie
 seren Klimaten
 t werden. Das
 isher an der
 licirtheit der
 Maschinen ge-
 ert. Das Ver-
 , bei dem alle
 inentheile auf
 Platte fertig
 rt hinausge-
 werden können,
 ert dies Ge-
 ganz ausser-
 dlich.
 er Kondensator
 als Beriese-
 stähler mit Flüs-
 tschüler kon-
 t werden, um
 Kühlwasser-
 e zu reduciren.
 Kondensator
 natürlich so
 gemacht wer-
 dass er sowohl
 komprimirten
 fe der Kälte-
 ine, wie die
 dirten Dämpfe
 rbeitsmaschine
 ssigt.

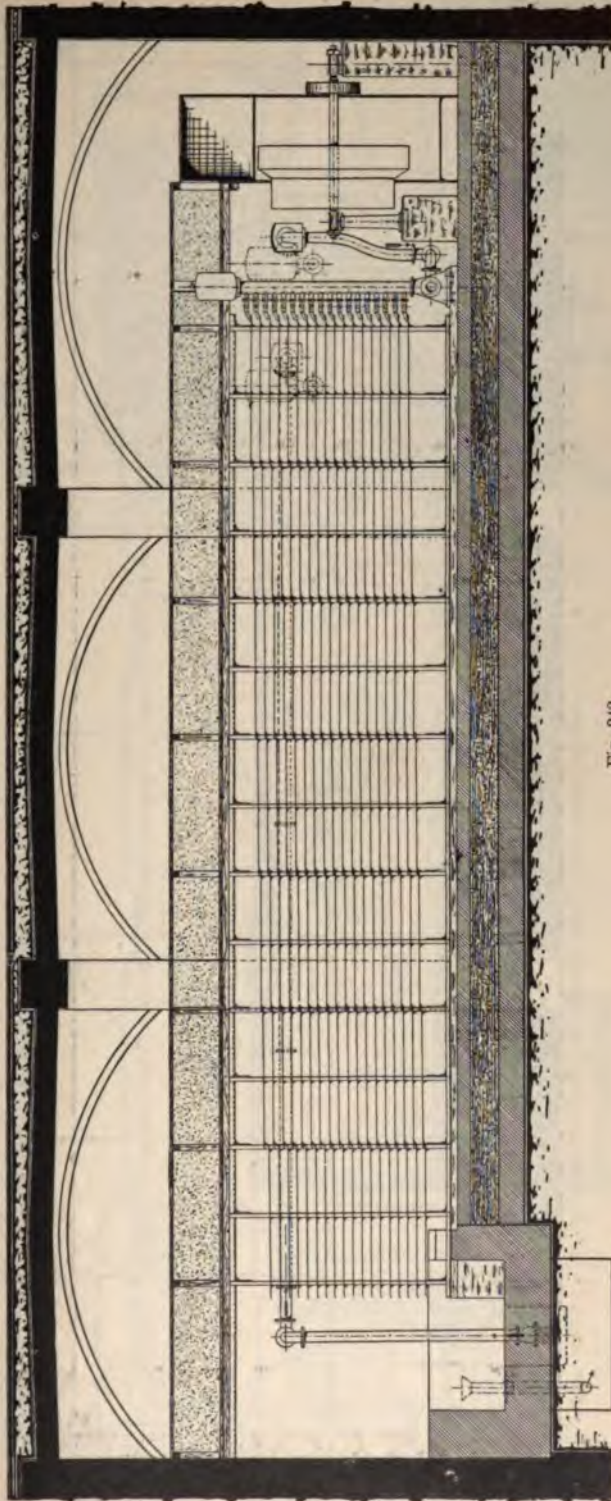


Fig. 242.

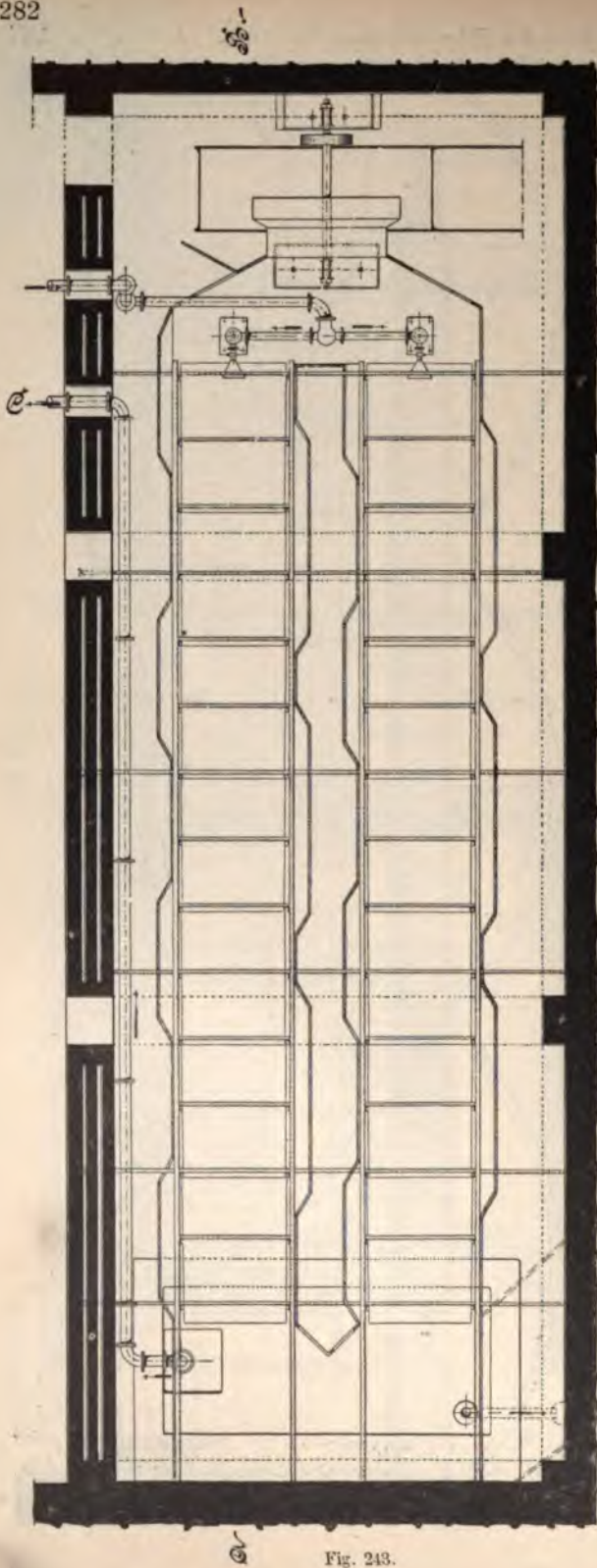


Fig. 243.

Der Motor als solcher ist im Maschinen-Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin versucht worden, und zwar in Verbindung mit einer Wasserdampfmaschine, um die Wärmeausnutzung in den Dampfmaschinen zu erhöhen. Der Chef des Maschinen-Laboratoriums, Herr Professor E. Josse, sagt darüber in seinem Bericht bei Gelegenheit der Hundertjahrfeier der Hochschule:*) „Bei einer Verbunddampfmaschine mit Kondensation von ca. 40 Pferdestärken konnten 56 Proc. der indicirten Leistung dieser Maschine ohne Mehraufwand an Dampf hinzugewonnen werden.“

Diese Dampfmaschine war von dem Vulkan in Stettin

*) Mittheilungen aus dem Maschinen-Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin, 2. Heft Seite 1 bis 9 von Prof. E. Josse — bei R. Oldenburg in München 1899.

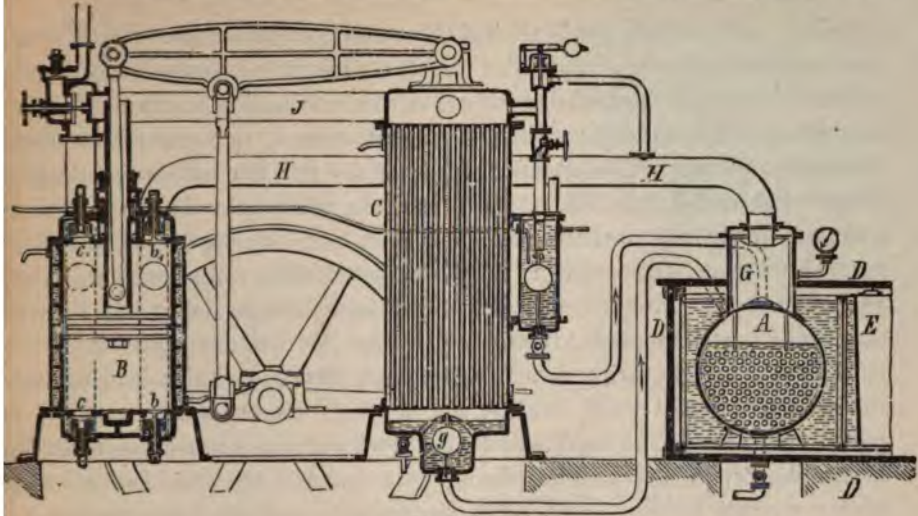


Fig. 245.

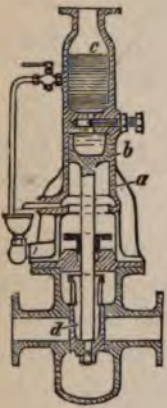


Fig. 247.

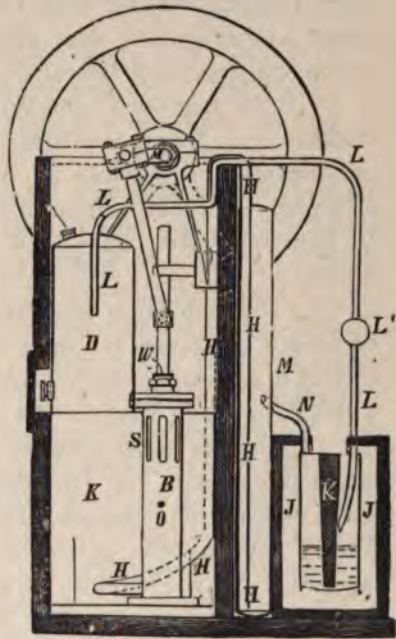


Fig. 244.

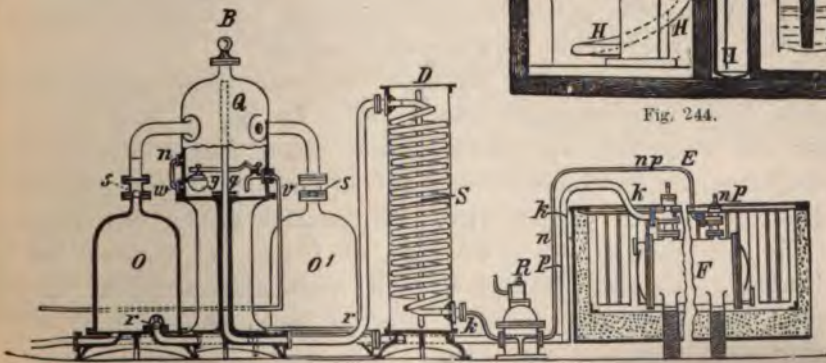


Fig. 246.

geliefert, „arbeitet wie gewöhnlich als Kondensationsmaschine. Der Abdampf aus dem Niederdruckcylinder wird in einen Oberflächenkondensator geführt und dort niedergeschlagen, jedoch nicht wie gewöhnlich durch Kühlwasser, sondern durch eine leicht verdampfende Flüssigkeit, in diesem Falle durch Schweflige Säure.“ „Selbstverständlich ist die mit der Kaltdampfmaschine, Patent Behrend-Zimmermann zu erzielende zusätzliche Leistung um so grösser, je grösser der Dampfverbrauch der Wasserdampfmaschine ist. Bei einer schlechten Wasserdampfmaschine mit hohem Dampfverbrauch wird durch Anschluss des Kaltdampfmotors daher der Procentsatz der zu gewinnenden Arbeit grösser sein, als bei einer guten Wasserdampfmaschine mit geringerem Wasserdampfverbrauch. Zahlreiche Versuche mit dem Kaltdampfmotor, welche seit Wochen vorgenommen wurden, ergaben, dass etwa pro 15 kg Wasserdampf, der durch die Wasserdampfmaschine hindurchgeht, in den Kaltdampfmotor eine indicirte Pferdestärke geleistet werden kann. Diese Versuchsergebnisse sind im Laboratorium mit einer verhältnissmässig sehr kleinen Maschine erzielt worden, und es ist ausser allem Zweifel, dass nach den jetzt vorliegenden Erfahrungen dieselben bei grösseren Maschinen noch günstiger ausfallen werden.“

„Stellt man sich eine grosse Kraftcentrale vor mit ca. 3000 Pferdestärken, und nimmt man den Dampfverbrauch dieser Maschine zu 7,5 kg pro indicirte Pferdestärke an, so wird durch Hinzufügung des Kaltdampfmotors mit demselben Aufwand an Kohlen pro 7,5 kg Dampf $\frac{1}{2}$ Pferdestärke, das sind 1500 Pferdestärken insgesamt gewonnen.“

„Setzt man selbst beste grosse Dampfmaschinen voraus, deren Dampfverbrauch heutzutage pro indicirte Pferdekraftstunde 5 kg immer noch überschreitet, so würden doch noch 1000 Pferdestärken ohne Mehraufwand an Kohlen gewonnen werden. Bei Dampfmaschinen mit hohem Dampfverbrauch ist der Gewinn noch grösser. In Berg- und Hüttenbezirken giebt es eine ganze Menge von Dampfmaschinen, welche theils mit Auspuff, theils mit Kondensation arbeiten, die mehr als 10 kg Dampf verbrauchen. In diesem Falle würden durch den Kaltdampfmotor bei einer 3000 pferd. Anlage 2000 Pferdestärken gewonnen werden.“

„Nimmt man für eine Maschine von etwa 3000 indicirte Pferdestärken einen Wasserdampfverbrauch von 5 kg an, so lässt sich heute schon mit Sicherheit voraussetzen, dass dieser Dampfverbrauch durch Hinzufügung des Kaltdampfeylinders auf 3,75 kg pro indicirte Pferdestärke und Stunde reducirt werden wird. Ich bemerke hierzu, dass dieser geringe Dampfverbrauch sich rechnerisch auf Grund der Versuche mit der vorhandenen kleinen, immerhin noch verbesserungsfähigen Maschine ergeben hat, und dass derselbe späterhin noch unterschritten werden dürfte.“

„Ein weiteres Feld zur Verwendung der Kaltdampfmotoren Behrend-immermann bietet sich in der Ausnutzung von warmen Abwässern und Heizgasen. Genügt doch schon eine Temperatur von 60 bis 70° dieser Abprodukte, um bei grossen Mengen derselben grosse Arbeitsleistungen kostenlos zu erzielen. Die Benutzung derselben Kaltdämpfe für Antriebsmaschinen, welche die Eismaschinen als Arbeitsflüssigkeit verwenden, legt den Gedanken nahe, Motor und Arbeitsmaschinen zu combiniren, und beide mit dem gleichen Mittel zu betreiben. Daraus ergeben sich wesentliche Vereinfachungen der Eismaschinen.“

Der Verfasser hat seit mehreren Jahren darauf schon Patente genommen, in ähnlicher Form wie vorstehend beschrieben.

Ueber den Motor in Verbindung mit der Wasserdampfmaschine hat der Verfasser schon im Jahre 1892 sich ausführlich geäussert*) und die zu erwartenden Resultate berechnet. Sie stimmen durchaus mit den Josse'schen Versuchsergebnissen, und ergaben, dass eine

Wasserdampfmaschine von . . .	5—5,5—6,6—10—25 kg	} Dampfverbrauch pro P <i>Si</i> und Stunde.
in Verbindung mit dem Kaltdampf- motor nur verbraucht . . .	3,75—4,0—4,5—5,7—6,9 kg	

In der Zeitschrift für die gesammte Kälteindustrie 1900 Heft 1 ist von R. Stetefeld versucht worden, die Verhältnisse der Maschine durchzurechnen.

Obwohl er von der unrichtigen Annahme ausgeht, dass 35 Proc. der Kaltdämpfe kondensirt werden, bevor sie im Cylinder zur Arbeitsleistung gelangen, so kommt er doch zu durchaus günstigen Resultaten. In Wirklichkeit ist natürlich nicht daran zu denken, dass von Dämpfen, die nur 60° Temperatur besitzen, annähernd soviel durch Abkühlung kondensiren, wie von Wasserdämpfen mit 160° und mehr Temperatur. Trotzdem kommt er zu den beachtenswerthen Resultaten, dass pro indicirte Pferdekraftleistung im Kaltdampfmotor nur 17 kg Abdämpfe gebraucht werden. Die Josse'schen Versuche haben bei der kleinen noch unvollkommenen Maschine nur 15 kg Abdampfverbrauch ergeben. Gute Isolirung der Apparate und Röhren und passend weite Dimensionen werden daher noch bessere Erfolge bringen. Stetefeld's Resultate sind, dass „der Kühlwasserverbrauch nicht grösser wird, als der bei Wasserdampfmaschinen, reducirt auf 1 Pferdestärke Gesamtleistung, während der Kohlenverbrauch auf rund $\frac{3}{5}$ des bisherigen Betrages sich vermindert (bei Combination einer Dampfmaschine von 10 kg Dampfverbrauch mit einem Kaltdampfmotor).“

Hierher gehört ein mit einer Luftpumpe betriebener Eisschrank von E. Müller in Erfurt, der in Fig. 251 abgebildet ist. Der Speiseraum *A* ist mit einem Kühlraum *B* umgeben, auf dessen Boden salpetersäures Ammoniak liegt, während über dem Raum *B* ein Flüssigkeitsbehälter *C*

*) Müller's
Eisschrank.

*) Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1892 Seite 1135 und 1900 Seite 318.

mit Schwimmventil *V* angeordnet ist, aus welchem Wasser fein zertheilt in den mittels Luftpumpe *D* luftverdünnt gemachten Raum *B* tritt und dort verdampft. Nachdem der Dampf sich wieder verdichtet hat, tritt im Verhältniss des sich bildenden Wassers ein Schmelzen des salpetersauren Ammoniaks ein. Die beim Verdichten des Dampfes frei werdende Wärme wird vollständig durch das schmelzende Ammoniaksalz gebunden, und darüber hinaus noch eine erneute Temperaturenniedrigung bewirkt. Durch ein nochmaliges Entlüften des Raumes *B* wird ein Abdampfen der entstandenen Lösung und dadurch eine Erniedrigung der Temperatur im Kühlraume *B* bewirkt.

Ueber Betrieb und Behandlung der Verdampfungsmaschinen mit Kompressionspumpe

erscheinen einige Bemerkungen wünschenswerth, und zwar wollen wir zuerst einige Worte über die Füllung der Maschinen sagen.

Am einfachsten erscheint die bereits bei Besprechung der Pictet-Maschinen beschriebene Art (siehe Seite 236), das Kälte erzeugende Mittel in Ballons in verdichtetem, flüssigem Zustande aufzubewahren. Behufs Füllung der Maschine wird dann ein solcher Ballon in die Maschine eingeschaltet und durch Oeffnen von Hähnen oder Ventilen das Kältemittel in die Maschine hinübergelassen. Es verdampft natürlich sofort und füllt die Maschine langsam an, so lange, bis die erforderliche Spannung in der Maschine vorhanden ist. Die Füllung wird während des Ganges der Maschine vorgenommen.

Je nach der Höhe der Spannung des Kältemittels bei der gewöhnlichen Lufttemperatur müssen die Ballons auch die entsprechende Stärke besitzen. Kohlensäure wird als flüssige Kohlensäure, wie solche den Brauern von den bekannten Ausschankapparaten her bekannt ist, in schmiedeeisernen, durchweg geschweissten sogenannten Flaschen verschickt, welche auf 200 Atmosphären Druck geprüft sind.

Aehnlich wird das flüssige Ammoniak zur Verwendung in den sämtlichen Ammoniakmaschinen, sowie jetzt auch in fast allen anderen Systemen, in Flaschen oder Ballons bezogen, und in gleicher Weise werden für die Schwefligsäuremaschinen und die mit sogenannter Flüssigkeit Pictet (Schwefligsäure und Kohlensäure gemischt) arbeitenden Ballons mit entsprechender Füllung eingeschaltet.

In die Linde'schen und die Osenbrück'schen Maschinen wurde aber auch die Füllung mittels Destillation aus Salmiakgeist vorgenommen, weshalb jede solche Maschine mit einem besonderen Destillationsapparate

sehen war. Es lässt sich nicht leugnen, dass die erste Methode recht bequem für den Maschinisten ist, die letztere aber bietet den Vortheil öfterer Unabhängigkeit, indem Salmiakgeist überall, auch in jeder Gasgestalt, zu haben ist, wo er als Nebenprodukt aus den Gaswässern gewonnen wird. Salmiakgeist ist nichts anderes, als eine Lösung von Ammoniakdampf in Wasser. In derartigen Flüssigkeiten wird der Procentgehalt an gelöstem Dampfe aus dem specifischen Gewichte festgestellt, oder nach

Tabelle XXVIII, zur Umwandlung der Beaumé'schen Aräometergrade in specifische Gewichte.

Beaumé'sche Aräometergrade und specifische Gewichte.

a) für Flüssigkeiten, die schwerer sind als Wasser:

Grad Beaumé	Specif. Gewicht	Grad Beaumé	Specif. Gewicht	Grad Beaumé	Specif. Gewicht	Grad Beaumé	Specif. Gewicht
0	1,000	16	1,124	31	1,272	46	1,464
1	1,007	17	1,133	32	1,283	47	1,479
2	1,014	18	1,142	33	1,294	48	1,494
3	1,021	19	1,151	34	1,306	49	1,510
4	1,028	20	1,160	35	1,318	50	1,526
5	1,036	21	1,169	36	1,330	51	1,542
6	1,043	22	1,179	37	1,342	52	1,558
7	1,051	23	1,188	38	1,355	53	1,575
8	1,058	24	1,198	39	1,367	54	1,593
9	1,066	25	1,208	40	1,380	55	1,610
10	1,074	26	1,218	41	1,394	56	1,628
11	1,082	27	1,229	42	1,407	57	1,647
12	1,090	28	1,239	43	1,421	58	1,666
13	1,098	29	1,250	44	1,435	59	1,685
14	1,107	30	1,261	45	1,449	60	1,705
15	1,115						

b) für Flüssigkeiten, die leichter sind als Wasser:

Grad Beaumé	Specif. Gewicht	Grad Beaumé	Specif. Gewicht	Grad Beaumé	Specif. Gewicht	Grad Beaumé	Specif. Gewicht
10	1,000	23	0,918	36	0,848	49	0,788
11	0,993	24	0,912	37	0,843	50	0,784
12	0,986	25	0,906	38	0,838	51	0,780
13	0,980	26	0,901	39	0,833	52	0,775
14	0,973	27	0,895	40	0,829	53	0,771
15	0,967	28	0,890	41	0,824	54	0,767
16	0,960	29	0,884	42	0,819	55	0,763
17	0,954	30	0,879	43	0,815	56	0,759
18	0,948	31	0,874	44	0,810	57	0,755
19	0,942	32	0,868	45	0,806	58	0,752
20	0,936	33	0,863	46	0,801	59	0,748
21	0,930	34	0,858	47	0,797	60	0,744
22	0,924	35	0,853	48	0,793		

der von Beaumé aufgestellten Skala gemessen. Die beiden vorstehenden Tabellen XXVIIIa und XXVIIIb zeigen die specifischen Gewichte solcher nach dem Beaumé'schen Aräometer gemessenen Flüssigkeiten an, und zwar Tabelle XXVIIIa für Flüssigkeiten, die schwerer als Wasser, und Tabelle XXVIIIb für Flüssigkeiten, die leichter als Wasser sind.!

Für Ammoniak lässt sich der Procentgehalt dann leicht aus dem specifischen Gewicht nach der folgenden Tabelle XXIX ablesen.

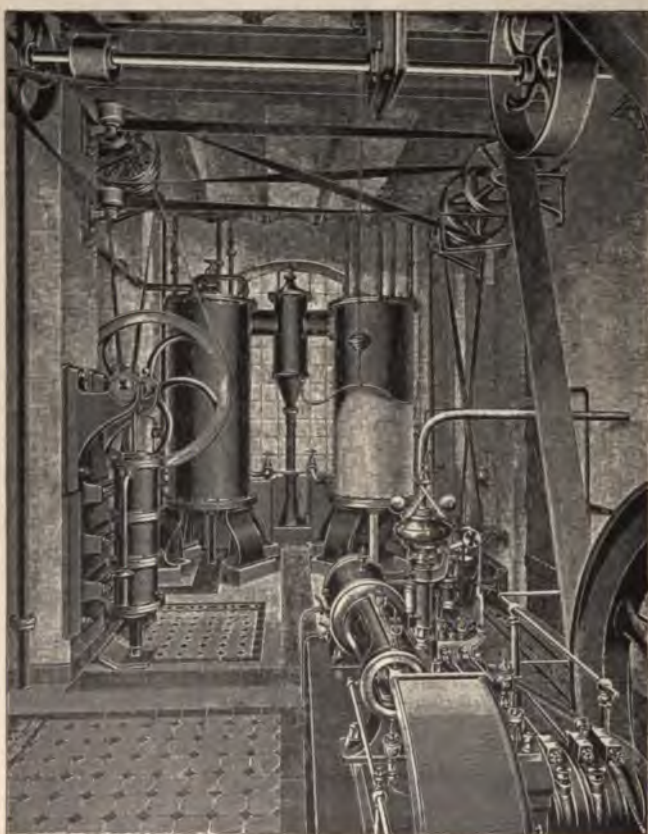


Fig. 248.

Die Füllung der Maschinen wird so vorgenommen, dass man ein in einem aufgestellten Messgefäß gemessenes Quantum Salmiakgeist in den Destillationskessel hinüberlässt, in welchem dann durch geringe Erwärmung mittels einer Dampf- schlange der Ammoniakdampf hinausgetrieben und in die Verdampfer- schlange überge- führt wird. Mittel- Kühlwasser wird die Temperatur regu- lirt. Die Destillation soll sehr langsam und vorsichtig vor- genommen werden, damit kein Wasser mit übergerissen

wird; geschieht es aber vorsichtig und langsam, so werden auch reine Dämpfe überdestillirt, wegen der weit auseinander liegenden Siedepunkte von Wasser und Ammoniak. Bei 2 Atmosphären Spannung, dem gewöhnlichen Destillationsdruck, destillirt der Dampf unter -9° C. über, wobei die erforderliche Verdampfungswärme dem Heizdampfe entnommen wird, während unter gleicher Spannung Wasser erst bei $+132,8^{\circ}$ C. verdampft. Man sieht, dass die Temperaturunterschiede so erheblich sind, dass die Gefahr übergerissenen Wassers ganz ausgeschlossen ist. Der Unterschied

nüber der Destillation bei Absorptionsmaschinen ist in die Augen
ngend.

Während der Destillation muss übrigens durchaus darauf geachtet
den, dass der Heizdampf nicht ganz abgesperrt werde, weil sonst die
Verdampfung des Ammoniaks gebrauchte Wärme dem Kühlwasser
zogen wird, das leicht zum Gefrieren kommen und dadurch den
stillirapparat beschädigen kann. Um das zu verhüten, darf man vor
stellung des Dampfes die Spannung nicht unter 3½ Atmosphären
ken lassen.

abelle XXIX der specifischen Gewichte und Procentgehalt von
Ammoniaklösungen (Salmiakgeist) bei Temperatur von 14° C.
(nach Carius).

Tabelle
über
Ammoniak-
lösungen.

Procent- gehalt	Specif. Gewicht	Procent- gehalt	Specif. Gewicht	Specif. Gewicht	Procent- gehalt	Specif. Gewicht	Procent- gehalt
1	0,996	19	0,928	0,885	35,7	0,965	8,5
2	0,992	20	0,925	0,890	33,3	0,970	7,2
3	0,987	21	0,922	0,895	31,1	0,975	5,9
4	0,983	22	0,919	0,900	29,0	0,980	4,7
5	0,979	23	0,916	0,905	27,0	0,985	3,5
6	0,975	24	0,913	0,910	25,2	0,990	2,3
7	0,971	25	0,911	0,915	23,4	0,995	1,2
8	0,967	26	0,908	0,920	21,7	1,000	0,0
9	0,963	27	0,905	0,925	20,0		
10	0,959	28	0,903	0,930	18,4		
11	0,956	29	0,900	0,935	16,9		
12	0,952	30	0,898	0,940	15,4		
13	0,948	31	0,895	0,945	13,9		
14	0,945	32	0,893	0,950	12,5		
15	0,941	33	0,891	0,955	11,1		
16	0,938	34	0,889	0,960	9,8		
17	0,934	35	0,886				
18	0,931	36	0,884				

Man destillirt nun so lange, bis die Füllung von Ammoniakdampf
erschöpft ist, was leicht mit Hülfe des Aräometers festgestellt wird, indem
an kleine Proben entnimmt, welche abgewogen werden. Aus der
abelle XXIX ist zu erkennen, dass bei Annäherung an das specifische
gewicht 1,00 des Wassers auch die Lösung nahezu erschöpft ist; in der
regel ist man mit einem specifischen Gewicht von 0,980 zufrieden, wobei
h ein Ammoniakgehalt von 4,7 Proc. in der erschöpften Lösung verbleibt.

Jede Maschinengrösse erfordert natürlich zur Füllung ein bestimmtes
ntum Ammoniakdampf, das wohl für die gleichen Nummern der Linde-
n und Osenbrück'schen Maschinen ziemlich gleich ist, für die Nummer I
Beispiel 5 kg Ammoniakgas, das bis Maschinennummer VII auf 400 kg
eigt.

Tabelle
über
Ammoniak-
lösungen.

Tabelle XXX für die bei der Destillation von 100 Litern Salmiakgeist in die Maschine geförderten Ammoniakmengen (in Kilogramm) und der zurückbleibenden Mengen erschöpfter Lösung (in Litern). Erstere sind fett gedruckt.
Temperatur 14° C. (Nach Karl Heimpel.)

Specif. Gewicht der eingefüllten Lösung	Specificisches Gewicht der erschöpften Lösung										
	0,940	0,945	0,950	0,955	0,960	0,965	0,970	0,975	0,980	0,985	0,990
0,885	21,24 71,6	22,41 70,0	23,46 68,5	24,49 67,0	25,41 65,7	26,30 64,5	27,18 63,2	28,03 61,9	28,79 61,0	29,56 59,8	30,26 58,8
0,890	18,83 74,6	20,05 73,0	21,16 71,4	22,22 69,9	23,19 68,5	24,12 67,2	25,04 65,9	25,89 64,7	26,79 63,6	27,48 62,5	28,24 61,4
0,895	16,61 77,5	17,88 75,8	19,03 74,1	20,14 72,6	21,13 71,2	22,11 69,8	23,06 68,4	23,97 67,1	24,79 66,0	25,60 64,8	26,38 63,7
0,900	14,46 80,4	15,79 78,5	16,74 76,9	18,13 75,3	19,16 73,8	20,09 72,4	21,14 71,0	22,10 69,6	22,95 68,4	23,79 67,2	24,60 66,1
0,905	12,52 83,0	13,87 81,1	15,10 79,4	16,29 77,7	17,36 76,2	18,40 74,7	19,40 73,3	20,39 71,9	21,27 70,6	22,14 69,4	22,97 68,2
0,910	10,55 85,6	11,94 83,7	13,20 81,9	14,43 80,1	15,54 78,6	16,62 77,0	17,65 75,6	18,66 74,2	19,57 72,9	20,47 71,6	21,33 70,4
0,915	8,57 88,1	10,10 86,1	11,40 84,3	12,65 82,6	13,80 80,9	14,91 79,3	15,98 78,6	17,02 76,4	17,95 75,1	18,87 73,8	19,76 72,4
0,920	6,85 90,5	8,34 88,4	9,67 86,6	10,97 84,8	12,13 83,2	13,27 81,6	14,37 80,9	15,45 78,5	16,41 77,2	17,35 75,7	18,27 74,4
0,925	5,02 93,1	6,56 90,9	7,93 88,9	9,26 87,1	10,46 85,4	11,63 83,7	12,76 82,1	13,86 80,7	14,85 79,2	15,82 77,8	16,76 76,5
0,930	3,29 95,4	4,85 93,3	6,27 91,2	7,64 89,3	8,86 87,6	10,06 86,0	11,23 84,2	12,35 82,7	13,36 81,4	14,36 79,9	15,42 78,4
0,935	1,66 97,7	3,26 95,4	4,71 93,7	6,10 91,4	7,36 90,6	8,58 88,0	9,78 86,3	10,93 84,7	11,97 83,2	12,99 81,7	13,97 80,3
0,940	—	1,64 97,8	2,99 95,7	4,54 93,4	5,84 91,8	7,09 90,1	8,30 88,4	9,49 86,7	10,57 85,2	11,59 83,7	12,61 82,2
0,945	—	—	1,50 97,8	3,11 95,6	4,30 94,0	5,58 92,1	6,82 90,4	8,03 88,7	9,13 87,0	10,19 85,5	11,22 84,1
0,950	—	—	—	1,51 97,8	2,84 96,0	4,15 94,2	5,42 92,3	6,67 90,5	7,78 89,0	8,77 87,4	9,92 86,0
0,955	—	—	—	—	1,38 98,1	2,71 96,2	4,01 94,4	5,28 92,6	6,42 90,9	7,53 89,3	8,60 87,8
0,960	—	—	—	—	—	1,36 98,1	2,69 96,2	3,97 94,5	5,14 92,7	6,27 91,2	7,37 89,5

Um zu bestimmen, wie weit die Destillation fortschreitet, dient die Tabelle XXX, aus welcher direkt abgelesen werden kann, wie viel Ammoniakdampf überdestilliert worden ist. Der benutzte Salmiakgeist habe z. B. ein specifisches Gewicht von 0,885, erste Horizontalzeile, die erschöpfte Lösung nach der Destillation ein specifisches Gewicht von 0,980, drittletzte Vertikalzeile, so wäre aus 100 l Salmiakgeist laut Tabelle 28,79 kg Ammoniakdampf ausgetrieben worden. Wenn die Füllung nur 40 l betrug, so ist aus derselben $28,79 \cdot 0,4 = 11,516$ kg Ammoniakdampf überdestilliert worden.

Die erschöpfte Lösung wird nun abgelassen und das Messgefäß von neuem gefüllt, wiederum das spezifische Gewicht festgestellt, und so fort, bis das ausreichende Quantum Ammoniak in die Maschine übergeführt ist.

Wenn man genau die erschöpfte Lösung misst, so lässt sich aus der Tabelle XXX gleichfalls feststellen, wie viel Wasser in die Maschine hinübergerissen wurde.

In ganz gleicher Weise verfährt man natürlich, wenn durch Undichtigkeiten in der Maschine Ammoniak entwichen ist und nachdestillirt werden soll. Diejenigen Stellen, wo ein Ent-



Fig. 249.

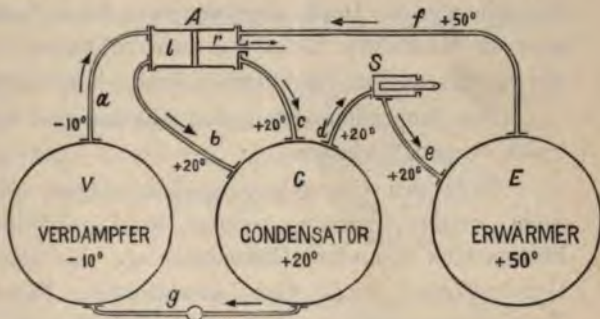


Fig. 250.

...schen möglich ist, erfordern daher besondere Aufmerksamkeit, vor allem Stopfbüchse, welche stets gut verpackt und gleichmässig angezogen ge-

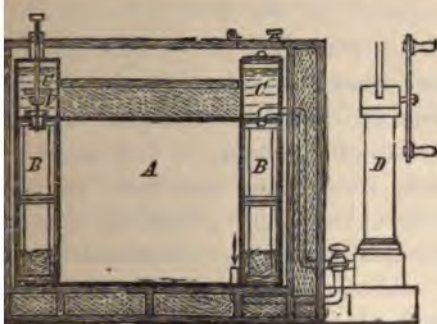


Fig. 251.

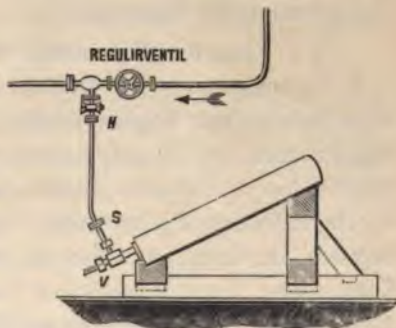


Fig. 252.

ten werden, bei welcher auch, neben stets genügendem Oel, die kleine Pumpe in gutem Stande sein muss. Gebrauchtes Oel soll, auch nach Reinigung, nur in mässigen Mengen dem frischen zugesetzt werden. wöhnliches fettreiches Oel verseift, namentlich bei höheren Temperaturen, t Ammoniak und verschmiert die Maschine, führt Erhitzungen herbei und

schaft alle möglichen Unregelmässigkeiten. Man verwendet daher hier in Deutschland leichter flüchtige Mineralöle von Baku, während in Amerika ein Verfahren beobachtet wird, bei welchem Mineralöle bei niedrigen Temperaturen wiederholt zum Gefrieren gebracht werden, wobei die leichter flüchtigen Oele zurückbleiben, welche in den Kältemaschinen dann benutzt werden. Ob Oel verseift, lässt sich in den Sammelbehältern der Maschinen leicht an der weissen Farbe und seifigen Beschaffenheit erkennen.

Rektifikation des Schmieröls.

Das benutzte Oel wird in den Maschinen regelmässig rektifizirt, um das absorbirte Ammoniak daraus zu entfernen, dann abgelassen und in mässiger Mischung wieder benutzt. Zum Rektificiren pflegen besondere Rektifikationsapparate aufgestellt zu sein, während man in ganz kleinen Maschinen den Destillationsapparat dazu benutzt. In Osenbrück'schen neueren Maschinen findet die Oelrektifikation in den Stopfbüchsen selbst, wie bereits an der betreffenden Stelle beschrieben, statt.

Die Stopfbüchse soll im Allgemeinen nach 2 bis 3 Monaten ganz frisch verpackt werden.

Falls sich Unregelmässigkeiten zeigen, so müssen die Ventile untersucht werden, welche anfangs wohl zuweilen in Folge von aus den Röhren sich lösendem Hammerschlag, und sonst wohl auch in Folge von Unreinigkeiten nicht dicht abschliessen. Warmwerden der Ventile oder Ventilgehäuse pflegt ein Zeichen von Mangel an Ammoniak zu sein, so dass dann nachgefüllt oder nachdestillirt werden muss.

Auch bei den Ammoniakmaschinen ist man seit längeren Jahren fast ausschliesslich zum Füllen der Maschinen mit wasserfreiem, flüssigem Ammoniak übergegangen. Es wird in eisernen Bomben angeliefert und folgendermaassen behandelt:

Regulirventil.

Will man die Maschinen in Gang setzen, so ist die erste Handlung nach Ingangsetzung das Oeffnen des zwischen Verdampfer und Kondensator befindlichen Regulirventils. Beim Stillsetzen der Maschine muss dies Regulirventil zuvor geschlossen werden. Falls dann die Ventile oder die Stopfbüchse untersucht werden sollen, so schliesst man die Verbindung der betreffenden Cylinderseite mit dem Verdampfer, setzt die Maschine langsam in Gang, um das in derselben befindliche Ammoniak in den Kondensator hinüberzudrücken und schliesst dann auch diese Verbindung. Alsdann kann die Maschine geöffnet werden.

Ammoniakbomben.

Das jeweils zu entleerende Ammoniakgefäss ist wie angedeutet in der Nähe des in der Flüssigkeitsleitung zum Einfüllen des Ammoniaks vorgesehenen Anstiches in geneigter Lage mit dem Auslassventil nach unten sicher zu befestigen.

Zwischen dem Ammoniakgefäss und dem Anstich der Flüssigkeitsleitung wird alsdann eine $\frac{3}{8}$ zöllige Verbindung hergestellt.

Der an dem seitlichen Ausgang des Auslassventils V (Fig. 252) der Ammoniakgefässe anzuschraubende Rohrstützen S wird den Gefässen beigegeben.

Nachdem nun bei einer Neuanlage der Verdampfer resp. Generator mit Salz- oder Süßwasser angefüllt ist, wird unmittelbar nach der Entlüftung der Apparate das Regulirventil geschlossen und das Auslassventil V des Ammoniakgefässes sowie das $\frac{3}{8}$ zöllige Hähnchen H vorsichtig geöffnet.

Das nunmehr in den Verdampfer übertretende und hier verdampfende Ammoniak kann nun bei langsamem Gange des Kompressors abgesaugt und in den Kondensator gedrückt werden, wobei das Ventil V der Ammoniakflasche so einzustellen ist, dass Flüssigkeitsschläge im Kompressor vermieden bleiben.

Macht sich nach einiger Zeit an dem Verdampfermanometer eine Druckentwicklung bei sehr langsam gehendem oder ganz abgestelltem Kompressor nicht mehr bemerkbar, so ist das Ammoniakgefäss leer.

Auf diese Weise wird mit der Entleerung eines zweiten, dritten u. s. w. Gefässes fortgefahren, bis die Maschine die erforderlichen Mengen Ammoniak enthält.

Das Maschinenpersonal ist ausdrücklich darauf aufmerksam zu machen, dass gefüllte Ammoniakgefässe an einem kühlen trockenen Orte (in einem Keller) aufbewahrt werden müssen.

Eine innere Reinigung der Kondensator- und Verdampferspiralen ist bei Verwendung guten Kompressoröls und bei vorschriftsmässiger Führung des Betriebes, insbesondere bei richtiger Handhabung der Einrichtung zur Entfernung des im Oelsammler abgeschiedenen Oeles (rotirender Hahn und Oeltopf), selbst nach Jahren gänzlich überflüssig.

Sind jedoch durch Unachtsamkeit im Betrieb grössere Mengen Oeles in den Verdampfer gelangt (in den Kondensatorspiralen ist das Zurückbleiben von Oel so gut wie ausgeschlossen), so genügt zu dessen Entfernung ein intensiver Betrieb des rotirenden Hahnes und fleissiges Entleeren des Oeltopfes vollkommen, sofern gutes, d. h. bei den tiefen Verdampfertemperaturen keine festen Bestandtheile ausscheidendes Oel verwendet worden ist.

Reinigung
des Ver-
dampfers.

Nur bei Verwendung schlechten Oeles und gleichzeitig unvorschriftsmässiger Betriebsführung kann unter Umständen ein Ausspülen der Spiralen mit heissem Wasser oder Ausblasen mit Dampf einmal erforderlich werden. Es ist aber dann nach dieser Operation mit grösster Sorgfalt darauf zu achten, dass kein Wasser in den Spiralen zurückbleibe.

Es kommt zuweilen vor, dass sich Luft in den Spiralen befindet, welche hauptsächlich während des Absaugens durch die Stopfbüchsen eingeht. Luft erhitzt sich aber bei den hohen Spannungen wie bekannt

Luft in den
Spiralen.

sehr stark und beeinflusst daher die Leistung der Maschinen sehr nachtheilig. Sie muss daher entfernt werden, was durch Oeffnen eines Hahnes oder Ventiles an der höchsten Stelle geschieht, indem man sie in einen Wasserbehälter ablässt. Zu erkennen ist die Anwesenheit von Luft dadurch, dass nach Stillelegen des Kompressors der Druck im Kondensator höher bleibt, als der Kühlwassertemperatur für Ammoniak entspricht.

Verstopfung
von Röhren.

Verstopfungen von Röhren äussern sich ähnlich wie Mangel an Ammoniak durch Erhitzen der Druckröhren und Sinken der Leistung der Maschine. Am besten thut man, in solchem Falle abzusaugen und die Röhren durch Dampf zu reinigen. Uebrigens lassen sich dann auch jederzeit Flanschenverbindungen lösen und der Thatbestand durch Nachschauen klarstellen.

Endlich hat man noch darauf zu sehen, dass die Salzlösung, welche im Verdampfer die Kälte aufnimmt, eine Dichtigkeit besitzt, deren Gefrierpunkt unter der Temperatur im Verdampfer liegt, damit sie nicht einfrieren kann. Das kann unmittelbar nach Tabelle II und III auf Seite 11 festgestellt werden.

Kühlwasser.

Das Kühlwasser soll rein sein, damit nicht Ablagerungen auf den Kondensatorröhren vorkommen, wodurch die Abkühlung des Ammoniaks beeinträchtigt würde. Von der Temperatur des Kühlwassers ist übrigens direkt die Spannung im Kondensator abhängig. Je höher die Temperatur des Kühlwassers ist, desto höher wird auch die Spannung im Kondensator, und daher auch der Kraftaufwand zum Betriebe des Kompressors. Falls man nicht genügend Kühlwasser zur Verfügung hat, so wird dasselbe unter gleichzeitigem Wachsen der Spannung im Kondensator stärker erwärmt. Es ist daher wohl möglich mit geringeren Mengen Kühlwasser auszukommen, jedoch geht das auf Kosten grösseren Kraftaufwandes. Verfasser hat derartige Einrichtungen gemacht, wo er fließendes Wasser zum Kühlen verwenden musste, das im Sommer sehr warm, bis 30° C., war, und hatte demzufolge dann Spannungen von 14 bis 15 Atmosphären im Kondensator. Wo also Kühlwasser mangelt, kann recht wohl auf diese Weise ein Ausweg gefunden werden.

Gradir-
werke.

Man stellt auch Gradirwerke auf, in welchen das gebrauchte Kühlwasser langsam herabtröpfelt und sich an der Luft auf diese Weise wieder zur Verwendung abkühlt. Im Sommer freilich wird das Wasser dann recht warm, aber man hat doch nur so viel zu ersetzen, wie an der Luft verdampft. Auf solche Weise wird es möglich, mit 10 Proc. des sonst erforderlichen Kühlwassers auszukommen. Es giebt Fälle genug, wo dies sehr wichtig ist, und wo man gerne sich den grösseren Kohlenverbrauch gefallen lässt, um nur an Kühlwasser zu ersparen.

Der grössere Theil der Maassregeln bei der Behandlung der Ammoniakmaschinen trifft auch bei den übrigen Kompressionsmaschinen zu, und es

ist schon bei aufmerksamer Betrachtung der vorstehenden Vorschriften vor, wo für die verschiedenen Kältemittel Vortheil oder Nachtheil liegt.

Ammoniak greift das ausschliesslich in der Maschine angewendete Eisen und Stahl nicht an, während schweflige Säure nicht völlig frei von diesem Vorwurf ist. Ebenso ist in dieser Hinsicht Kohlensäure ganz unbedenklich.

Wenn in der That schweflige Säure ganz ohne Schmiermittel in einem Kompressor arbeiten kann, so ist das ein nicht zu unterschätzender Vortheil. Die aus der Benutzung von Schmieröl herrührenden Vorschriften verursachen recht erhebliche Uebelstände in sich. Letztere verschwinden allerdings fast ganz bei den de la Vergne-Ammoniakmaschinen, bei welchen die Benutzung sehr reichlicher Oelmengen viele Vortheile mit sich bringt, wie bei der Besprechung dieser Maschinen hervorgehoben wurde. Der ölzugleich trocken arbeitende Kompressor der Pictet-Maschinen hat dagegen keine Zerstörungen oder Beschädigungen im Gefolge, weil die schweflige Säure schlüpfrig ist. Es darf aber nur Mineralöl zum etwaigen Schmiermittel benutzt werden, keine animalischen Fette. Man sieht, Vortheil und Nachtheil hält sich hier mindestens in der Waage.

Ammoniak und schweflige Säure besitzen den nicht zu unterschätzenden Vortheil, dass jede auch noch so geringe Undichtigkeit sich sofort durch den Geruch bemerkbar macht, so dass die Reparatur vorgenommen werden kann. Andererseits muss man bei Oeffnung der Maschinen sehr vorsichtig verfahren, weil der Aufenthalt in der damit schwängerten Atmosphäre nicht lange ertragen werden kann. Kohlensäure hat den letzten Uebelstand nicht, dagegen kann sie aus der Maschine entweichen, und entweicht in der That bei den ausserordentlichen Spannungen, ohne dass es anders bemerkbar wird, als durch den plötzlichen Druck in der Maschine. Die Leistungsfähigkeit sinkt dadurch wesentlich herab und es bleibt deshalb nur beständige Nachfüllung von Kohlensäure übrig. Auch dieser Umstand vergrössert den Kraftverbrauch in diesen Maschinen.

Undichtig-
keit.

Die mit schwefliger Säure arbeitenden Kompressoren haben auf der Gegenseite stets Spannungen, welche nahe der Atmosphäre, meistens unter denselben, liegen, woraus denn starkes Einsaugen von Luft folgt. Die durch eintretenden Uebelstände sind bereits besprochen.

Um übrigens den Maschinisten zu ermöglichen, selbst bei plötzlich eintretenden starken Undichtigkeiten oder Brüchen rechtzeitig dadurch zu greifen zu können, dass sie sich in die Räume, wo starke Ammoniak-, schweflige Säure- oder Kohlensäureausströmungen stattfinden, ohne Gefahr und Beschwerden zu begeben vermögen, benutzen sie mit Vortheil die doch sonst für Feuerwehreute gebräuchlichen Schutzbrillen und Respirationsapparate, wie solche von B. Loeb in Berlin geliefert werden und

Respira-
tions-
apparat.

ihm patentirt sind. Der Respirationsapparat beruht auf dem Princip, sich die Luft zur Athmung von ausserhalb zu verschaffen. Man befestigt zu dem Zwecke den Apparat vor dem Munde und saugt durch einen Schlauch die zum Athmen erforderliche Luft von Aussen. In Fig. 253 ist 1 das mit besonderen Sicherungen gegen Einathmen von Gasen versehene Ventilgehäuse, 2 der damit verbundene elastische Athmungsschlauch, 3 ist ein Reinigungsgehäuse für die einzuathmende Luft und ist mit dem beweglichen Riementheil 4 verbunden, 5 ist dann ein Spiralschlauch zur Luftzuführung. Ferner ist in der Figur auch eine Schutzbrille 6 zu sehen, welche durch Gummiringe um die Augen hermetischen Abschluss bewirkt, wodurch die ätzenden Dämpfe nicht an die Augen dringen können.



Fig. 253.

Noch besser ist der Respirationsapparat von König in Altona, der aus einem geschlossenen Helm besteht und daher noch mehr Schutz bietet. Er ist in Fig. 254 abgebildet. Der Helm ist ganz um den Hals geschlossen und mit Gläsern vor den Augen versehen. Mittels eines Schlauches wird aus dem Nebenraume durch den Blasebalg beständig frische Luft in den Helm eingeblasen.

Die Fig. 254 und 255 zeigen die Art der Benutzung der Königschen Apparate. Sie haben sich auch bei der Feuerwehr eingeführt.

Von König in Altona werden auch einfachere Apparate geliefert, die in Fig. 256 abgebildet sind und mit der Brille Fig. 257 gemeinschaftlich für viele Fälle gute Dienste leisten.

Der Apparat ist aus dauerhaftem, widerstandsfähigem Gummi hergestellt und ausserordentlich leicht.

Vorn im Apparat befindet sich ein feiner Schwamm, durch welchen das Einathmen erfolgt und die Luft gereinigt wird. Das Ausathmen geschieht durch das sich oberhalb des Schwammes befindliche, leichtschliessende Ventil, weshalb ein nochmaliges Einathmen derselben Luft ausgeschlossen ist.

Der Schwamm wird gegen Staub als trockener, gegen säurehaltige Luft als nasser Filter verwendet.

Die Schutzbrille dient zum Schutze der Augen gegen Staub, ätzende Dämpfe u. s. w.

Die Platte ist in Leder ausgeführt, wodurch sich die Brille leicht allen Gesichtsformen anschmiegt und selbst bei anhaltendem Tragen jede Beschwerde durch Druck, schlechtes Sitzen u. s. w. verhindert und doch die Augen fest abschliesst.



Fig. 254.



Fig. 255.

Noch einige Apparate, Gegenstände und Maschinen, die bei Kältemaschinen Anwendung finden.

Osenbrück-
scher Luft-
kühlapparat.

Ein Osenbrück'scher Apparat, der von der Niederlausitzer Maschinenfabrik von Conrad Baentsch in Sorau unter anderen gebaut



Fig. 255.



Fig. 257.

wird, ist in Fig. 255 abgebildet. In demselben wird die zu kühlende Luft in direkte Berührung mit der Salzsoole gebracht, zu demselben

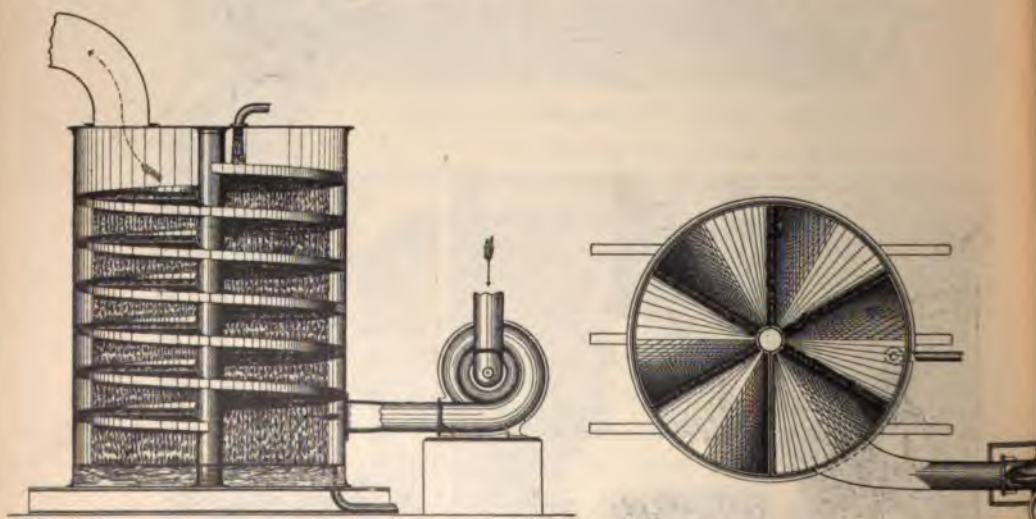


Fig. 258.

Zwecke, wie in dem bereits beschriebenen Linde'schen Scheibenapparat. Die durch den mitabgebildeten Ventilator eingeblasene Luft durchstreicht schlangenartig die herabrieselnde kalte Salzsoole. Sie wird auf diese Weise nicht nur gekühlt, sondern auch getrocknet und gereinigt, und tritt nur mit Feuchtigkeit, der kalten eigenen Temperatur entsprechend, normal gesättigt aus. Indem sie sich dann in dem zu kühlenden Raume er-

, kommt sie auch wieder in die Lage, dort Feuchtigkeit aufzunehmen. Diese Apparate finden namentlich in Fleischkühlanlagen Verwendung.

Fig. 259 giebt die Abbildung eines beachtenswerthen Luftapparates von Schüchtermann & Kremer in Dortmund, dessen Princip beruht, aber durch seine Einfachheit auszeichnet.

Die Fig. 260 bis 263 zeigen die Art, wie Salzwassersysteme zur Reinigung von Kellerböden angebracht sind. Man thut dies, indem man die Röhren an der Wand befestigt zu pflegen. An den Enden werden die Röhren durch eine Krümmer miteinander verbunden, so dass der Wasserstrom das System durchfließen kann.

Man thut dies, indem man die Röhren an der Wand befestigt zu pflegen. An den Enden werden die Röhren durch eine Krümmer miteinander verbunden, so dass der Wasserstrom das System durchfließen kann.

Die Röhren sind meistens von Schmiedeeisen, aber auch aus Gussstahl, eisst und nahtlos. Zuweilen werden auch guss-geformte Rippenrohre gelegt, von der Art, wie zuweilen verwendet werden. Dadurch wird die Oberfläche bei gleicher Länge grösser, als bei glatten Röhren.

Letztere pflegen 52 mm äussere Weite zu haben, so dass etwa 1 laufende Meter einen Quadratmeter Oberfläche darstellen. Man legt in Bierlagerkellern von etwa 5 Meter Höhe pro Quadratmeter Oberfläche 2,3 bis 3 laufende Meter Rohre für Salzsoole anzunehmen,

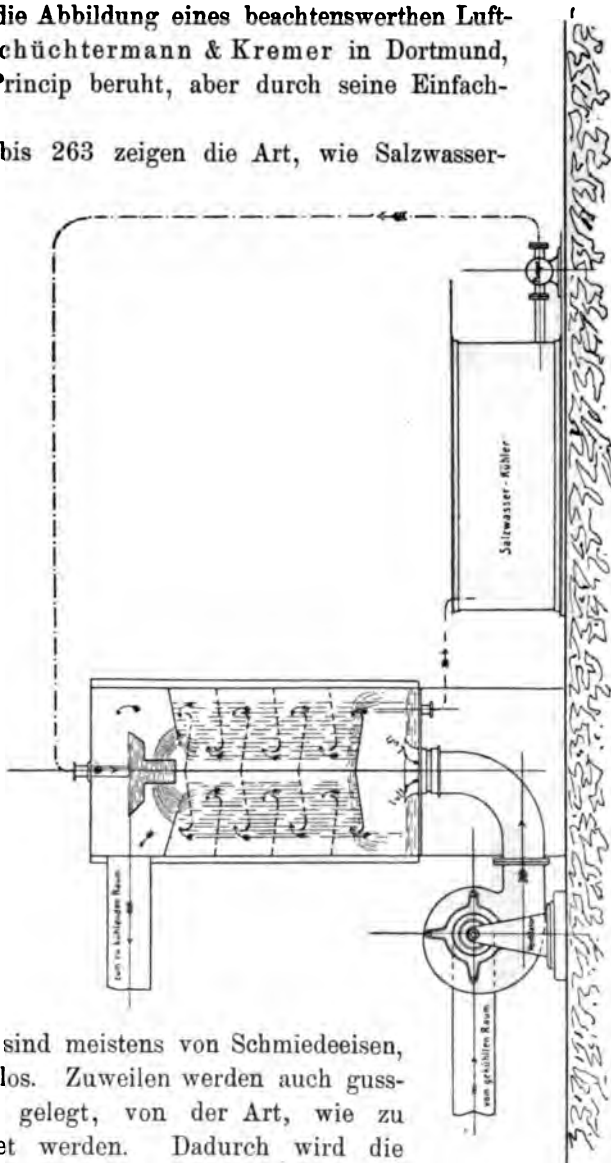


Fig. 259.

Befestigung von Salzwassersystemen.

Anzahl und Oberfläche der Salzwassersysteme.

300 Betrieb und Behandlung der Verdampfungsmaschinen mit Kompressionspumpe.

d. h. 0,3 bis 0,5 Quadratmeter Kühloberfläche. Anders gerechnet ist pro Kubikmeter Kellerraum 0,06 bis 0,1 Quadratmeter Kühlrohroberfläche anzulegen.



Fig. 260.

In Gährkellern legt man wegen der stärkeren Wärmeerzeugung und des grösseren Luftwechsels die doppelte Anzahl Röhren.

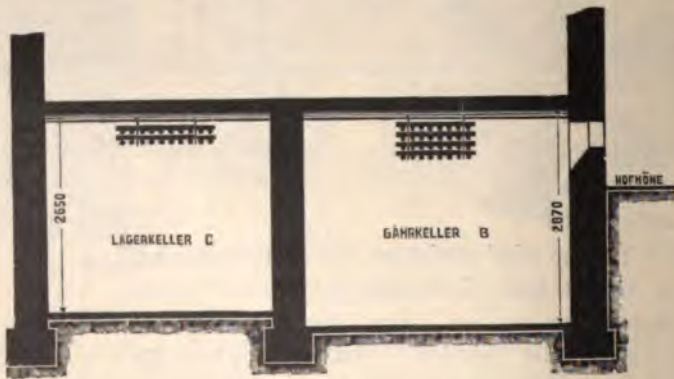


Fig. 261.

Die Angaben beruhen auf Erfahrungen und können als normal gelten. Sie unterliegen natürlich Aenderungen, wenn die Erwärmungsverhältnisse der Kellerräume ungünstig sind.

Ein Quadratmeter Rohroberfläche transmittirt etwa 40 bis 70 Wärmeinheiten stündlich bei der geringen Temperaturdifferenz zwischen der soole in den Rohren und der Luft in den Kellern.

Wie aus den Tabellen Seite 11 hervorgeht, wird meistens zur Cirtion in den Kühlröhren oder im Refrigerator Salzlösung oder Chlorium verwendet. Die Sättigungs- und Temperaturverhältnisse sind dort gegeben. Beide leiden an dem Uebelstand, dass sie häufig unrein sind zerstörend auf die Maschinentheile (Pumpen) wirken und die Leitungen schmutzen und verschleimen, häufig auch gelöste Theile wieder absetzen. Rohrleitungen werden häufig davon verstopft.

Art des Salzes zur Füllung der Rohr-systeme.

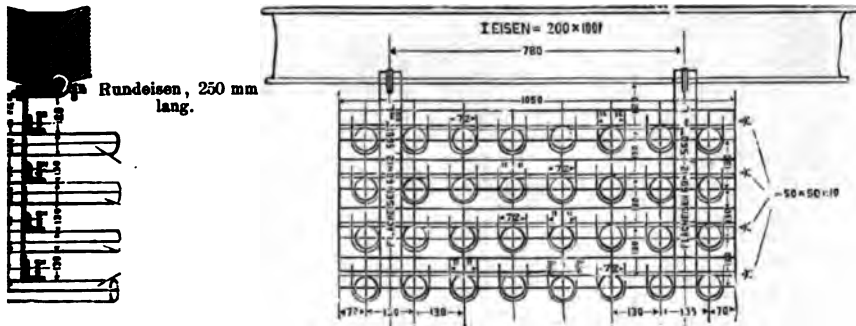


Fig. 262.

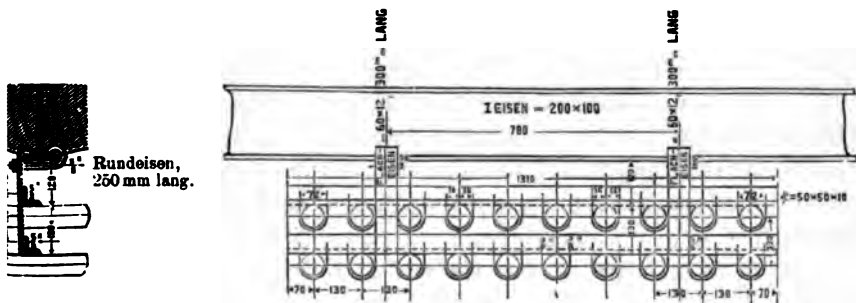


Fig. 263.

In letzter Zeit wird auch vielfach Chlormagnesium angewendet, das, die genannten beiden Stoffe, in Stücken und zerkleinert in Fässern packt geliefert wird, und zwar nicht zu höherem Preise als jene. liegt mir eine Liste von der Chemischen Fabrik Concordia Leopoldshall-Stassfurt vor, nach welcher dasselbe ausser in grossen Mengen auch krystallisirt oder geschmolzen geliefert wird, und zwar wie

geschmolzenes				krystallisirtes			
Art der Packung	unter	min-	min-	Art der Packung	unter	min-	min-
	10000 kg	destens	destens		10000 kg	destens	destens
	per 100 kg				per 100 kg		
I. Petrolbarrels von ca. 275 kg Inhalt.	ℳ 4,80	ℳ 4,40	ℳ 4,10				
II. Schmalzbarrels von ca. 250 kg Inhalt oder kleine neue Tonnen bis ca. 290 kg Inhalt, oder eiserne Trommeln ca. 275 kg Inhalt.	ℳ 4,40	ℳ 4,—	ℳ 3,70	I. Petrolbarrels à ca. 230 kg Inhalt.	ℳ 5,60	ℳ 5,20	ℳ 4,90
III. grosse neue Tonnen bis ca. 390 kg Inhalt.	ℳ 4,20	ℳ 3,80	ℳ 3,50				
IV. Blöcke bis ca. 290 kg Gewicht ohne Fass (nur in Wagenladung lieferbar).	ℳ 3,30	ℳ 2,90	ℳ 2,60	II. neue Tonnen à ca. 300 kg Inhalt.	ℳ 4,90	ℳ 4,50	ℳ 4,20

Die Sättigungsverhältnisse sind ganz ähnlich wie die in den Tabellen auf Seite 10 angegebenen. Die Lauge ist neutral gegen Metalle und klar.

Die Salz-, Chlorkalcium- oder Chlorammoniumlösung wird durch die Kühlrohrsysteme meistens durch Rotationskapselpumpen von gewöhnlicher bekannter Form gepumpt. Bekannt ist, dass die Pumpen 80 bis 100 Touren oder höchstens bis 200 Touren pro Minute machen, und sich darin vortheilhaft von den Centrifugalpumpen unterscheiden. Sie haben aber so grosse Spalten zwischen den rotirenden Kapseln und dem äusseren Gehäuse, dass ihre Leistung mit der zunehmenden Spannung sinkt, indem die Flüssigkeit dann nach der Saugseite mehr und mehr zurücktritt. Diese Eigenschaft aber ist es, welche die Pumpen für den bezeichneten Zweck eingeführt hat. Je nach Bedürfniss werden die Zugangsventile zu den verschiedenen Kühlrohrsystemen gedrosselt, und es kann wohl vorkommen, dass sie ganz oder zum Theil geschlossen sind, während die Pumpe arbeitet. In solchen Fällen ist die beschriebene Undichtigkeit zwischen Kapseln und Gehäuse am Platze. Ich will nicht näher auf diese bekannten Pumpen eingehen, sondern gebe nur in Fig. 264 eine äussere Abbildung einer Rotationspumpe von Beck & Rosenbaum Nachf. in Darmstadt.

In neuerer Zeit werden von der Maschinenfabrik Augsburg
 genannte Drehkolbenpumpen gebaut, die ebenfalls Rotationspumpen sind,
 aber mit einem Wirkungsgrad von 90 Proc. eine Förderhöhe von
 10 Metern erreichen. Mit Bezug auf die nachfolgende Abbildung der
 Lehmann'schen Rotationspumpe, welche dieser Augsburger Pumpe sehr
 ähnelt, seien die Augsburger Bemerkungen über ihre Drehkolbenpumpe hier
 erwähnt. In einem gemeinschaftlichen Gehäuse eingeschlossen, drehen sich
 zwei Flügelkolben in entgegengesetzter Richtung, von denen der eine
 steuernd, der zweite steuernd wirkt. Die gegenseitige Anordnung der
 Drehkolben ist so getroffen, dass eine Verbindung der Saug- und Druck-
 kamme der Pumpe in
 diesen Lagen der Flügel
 vermieden wird. Die
 Bewegung des Steuer-
 kolbens ist von der
 Bewegung des Förderkol-
 bens abhängig gemacht
 durch Zahnräder, welche
 auf einen durch die
 Achsenreibung des
 Steuerkolbens entste-
 henden minimalen Ar-
 beitsdruck zu über-
 tragen haben und keinem
 Druckwechsel unter-
 liegen. Der Spielraum der Drehkolben ist auf ein Minimum reducirt,
 was zu die gute Konstruktion und Arbeit das ihrige thun.

Drehkolben-
 pumpe von
 Maschinen-
 fabrik
 Augsburg.

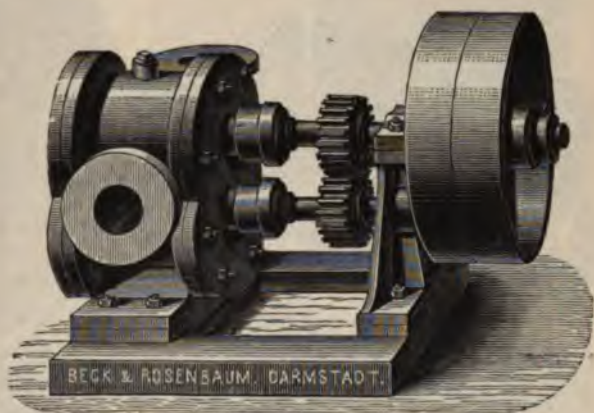


Fig. 264.

Die Lehmann'sche Pumpe, D. R.-Patent 86889, wird in der Wil-
 helmshütte in Waldenburg in Schlesien mit grossem Erfolge gebaut. Ihr
 Vorzug besteht in der vorhandenen Druckentlastung und Spannungsaus-
 gleich. Die Fig. 265 giebt die äussere Ansicht, die Fig. 266 bis 268 den
 Längsschnitt. Sie zeigen die Pumpe während des Arbeitsganges mit den
 entsprechenden Kolbenstellungen. Verausgeschickt sei noch, dass die
 Pumpe nach jeder Seite umlaufend zu verwenden ist, d. h. sowohl *S* Saug-
 kamme, *D* Druckseite, als auch *D* Saugseite, *S* Druckseite sein kann, ent-
 sprechend einer Rechts- \rightarrow oder Links- \leftarrow Drehung des Arbeitskolbens *Z*.
 Unter der Annahme, dass *S* Saugseite, stellt Fig. 267 die Pumpe beim
 Beginn des Saugens dar. Der Kolben *Z_I* tritt aus der Kammer des unteren
 genannten Steuerkolbens und saugt bei seiner Weiterbewegung, ebenso
 der Kolben *Z_{IV}*, aus *S* Flüssigkeit an, so lange, bis die Kolben in Stellungen
 wie in Fig. 266 bis 268 gelangt sind, in denen der Kolben *Z_I* die Saugseite
 geschlossen hat und nun die zwischen den Kolben befindliche Flüssigkeit

Lehmann-
 sche Rota-
 tionspumpe
 von Wil-
 helmshütte.

nach der Druckseite gefördert wird, ein Vorgang, der sich bei jeder Umdrehung, entsprechend der Kolbenzahl, wiederholt. Ist D als Saugseite gewählt, so findet der entsprechende umgekehrte Vorgang statt.

Das Wesentliche und Eigenthümliche der Pumpen System Lehmann sind die Umströmkanäle oder -Aussparungen, Y und Y_I , durch die sich die Konstruktion von allen anderen unterscheidet. Denkt man sich in den Figuren die Kanäle als nicht vorhanden, so ergibt eine Betrachtung Nachstehendes: Beim Ein- und Austreten der Kolben Z aus den Kammern K muss die in der Kammer enthaltene Flüssigkeit durch die Oeffnung X

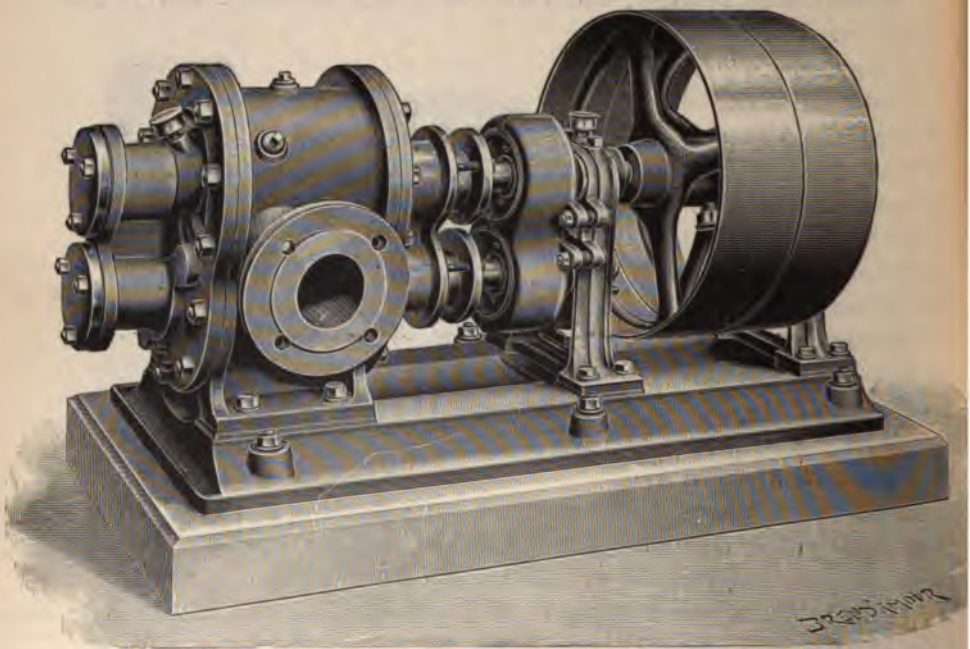


Fig. 265.

austreten bzw. durch diese Oeffnung die Kammer sich füllen. Da nun gerade bei der grössten eintretenden Kolbenmasse diese Oeffnung X ein Minimum ist, so wird die in der Kammer enthaltene Flüssigkeit komprimirt bzw. mit grosser Beschleunigung aus der Kammer herausgepresst und damit die ganze Druckflüssigkeitssäule beschleunigt werden. Auf der Saugseite muss die Flüssigkeit mit bedeutend grösserer Geschwindigkeit die Kammer anfüllen und wird einen Rückstoss auf die Saugflüssigkeitssäule ausüben. Da nun die Zeit des vollständigen Ein- oder Austretens eines Kolbens höchstens $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{12}$ Sekunde beträgt, so wird ein bedeutender Stoss entstehen. Bei der nun rasch aufeinander folgenden Zahl der Erschütterungen wird sich ausser frühzeitiger Abnutzung ein beträchtlicher Kraftverbrauch ergeben, denn jeder Stoss in einer Maschine bedingt einen

nützen Kraftverbrauch. Bei allen rotirenden Pumpen sind nun diese Lössen vorhanden und bedingen neben raschem Verschleiss der Kolben, Pleueln, Lager und Stopfbüchsen u. s. w. und geringer Betriebssicherheit den ungünstigsten Wirkungsgrad. —

Die Lehmann-Pumpe vermeidet nun durch die Umströmkanäle oder Einsparungen, Y und Y_I , diese Lössstände. Eine Beschleunigung oder Verzögerung der Flüssigkeitsströme, durch die eine Erschütterung (Loss) bedingt wäre, kann nicht stattfinden, da die Querschnitte sowohl für die aus der Kammer zu strömende, als auch dieselbe umströmende Flüssigkeit hinreichend gross sind. Die rotirende Pumpe nach dem System Lehmann besitzt gegenüber anderen Systemen neben grosser Betriebssicherheit und geringer Abnutzung der beanspruchten Theile



Fig. 266.

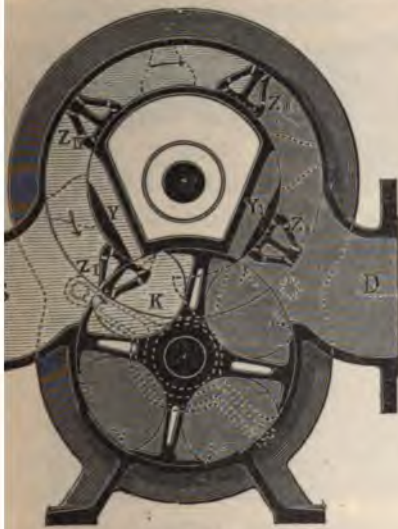


Fig. 267.

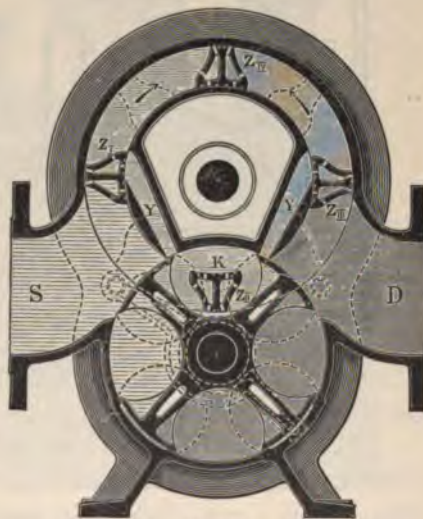


Fig. 268.

ein sehr günstigen Wirkungsgrad. Die Umströmvorrichtung hat noch einen weiteren Vortheil. Wenn die Kammer gegen die Druckseite abgeschlossen ist, Fig. 266, befindet sich in derselben Flüssigkeit mit Druckernung. Bei anderen rotirenden Pumpen kommt nun die druckgefüllte Kammer plötzlich mit der Saugseite in Verbindung. Dadurch wird, zumal

bei grösserer Saughöhe, die Saugleistung der Pumpe vermindert. Je grösser der Druck, um so bedeutender wird dieser Verlust. Durch die Umströmkanäle wird nun Nachstehendes erzielt: Ist die Kammer K , Fig. 267 mit dem Raum zwischen Z_{III} — Z_{IV} in Verbindung, so gleicht sich die Spannung beider Räume aus, und zwar entsteht in Z_{III} — Z_{IV} eine Spannung, die nahezu so gross wie die auf der Druckseite vorhandene ist, da in dem Raume schon zum Theil Spannung enthalten ist. Kommt nun Raum Z_{III} — Z_{IV} mit der Druckseite in Verbindung, so vereinigen sich Flüssigkeiten gleichen Druckes, es kann kein Stoss entstehen. Hat nun der Steuerkolben den Kanal Y abgeschlossen, wie in Fig. 268, so

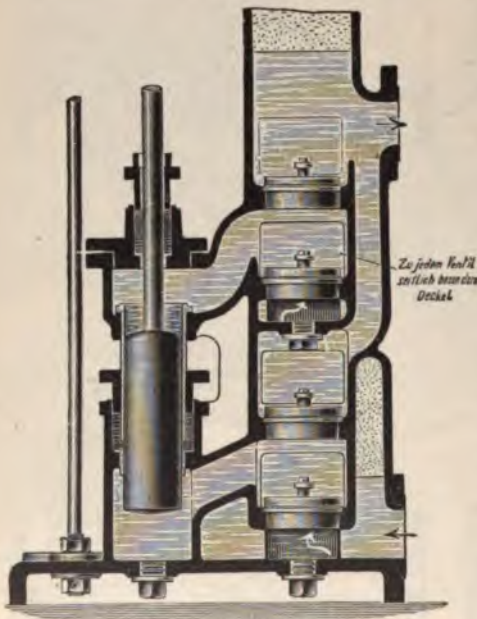


Fig. 269.

findet ein abermaliger Druckausgleich zwischen der Kammer und dem Raum Z_I — Z_{IV} statt, so dass, wenn die Kammer mit der Saugseite in Verbindung kommt, überhaupt keine Spannungsunterschiede vorhanden sind. Ausserdem ist der Steuerkolben von dem auf demselben lastenden Drucke durch entsprechende Vorrichtung entlastet, so dass schädliche Reibungen an der Gehäusewand nicht entstehen können. Da nun diese Vorrichtung in geeigneter Stellung ebenfalls die Kammer mit Flüssigkeit von Druckspannung füllt, so kommt auch bei der Verbindung der Steuerkolbenkammern mit der Druckseite keine Spannungsdifferenz zusammen, so dass Stösse eben-

falls vermieden sind. Die Fig. 266 bis 268 zeigen diesen Vorgang durch entsprechende Schraffirung.

Die Rotationspumpen sind zur Förderung der dicken Flüssigkeit gut geeignet, allerdings thut man bei diesen letzt beschriebenen gut abgedichteten Pumpen gut, Sicherheitsventile anzubringen, deren Druckseite mit der Saugseite der Pumpe verbunden ist. Wenn sich das belastete Ventil bei einer bestimmten Druckspannung öffnet, so soll die Flüssigkeit in die Saugseite übertreten können.

Sobald man dazu übergeht, so ist auch kein Grund mehr vorhanden, gute Kolbenpumpen abzulehnen, die im Stande sind, dicke Flüssigkeiten ohne Gefahr zu befördern. Es existirt da eine gute Kolbenpumpe von der

Una-Kolbenpumpe von Klein, Schanzlin & Becker.

bekannten Firma Klein, Schanzlin & Becker in Frankenthal in der Rheinpfalz, die sich bereits sehr viel für diesen Zweck mit gutem Erfolge eingeführt hat. Die Kolben sind sogenannte Plungerkolben. Statt aber bei den doppeltwirkenden Plungerpumpen, wie bisher, mit zwei grossen Stopfbüchsen arbeiten zu müssen, von denen die eine nach unten hängt, ist hier eine eigenthümliche Anordnung getroffen, wie der Durchschnitt der Fig. 269 zeigt. In dem oberen Pumpenstiefel ist an Stelle der bisher nach abwärts gerichteten Stopfbüchse ein Metallcylinder dicht eingesetzt, in welchem der Plunger gleitet. Das untere Ende dieses Cylinders reicht in die Stopfbüchse des unteren Pumpenstiefels bis nahe zum Grundring der Stopfbüchse hinab, und an dieser Stelle, unter dem unteren Ende des Cylinders, wird die Packung dicht um den Plunger herumgepresst, so dass hier der obere Pumpenstiefel von dem



Fig. 270.

unteren dicht abgeschlossen ist. Die Firma bezeichnet diese Pumpen mit dem Namen Unapumpen und konstruirt sie in den verschiedensten Arten, als zwei- und vierfachwirkend, stehend, liegend, Riemen- und Dampfpumpen u. s. w. Aus der Figur geht auch die günstige Lage der Ventile hervor.

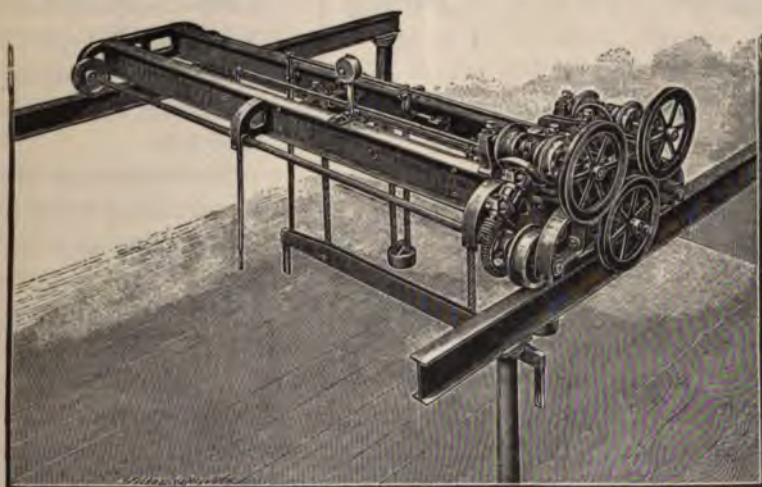


Fig. 271.

unteren dicht abgeschlossen ist. Die Firma bezeichnet diese Pumpen mit dem Namen Unapumpen und konstruirt sie in den verschiedensten Arten, als zwei- und vierfachwirkend, stehend, liegend, Riemen- und Dampfpumpen u. s. w. Aus der Figur geht auch die günstige Lage der Ventile hervor.

Eis-Lauf-
krahne von
Maschinen-
fabrik
Augsburg.

Zum Ausheben der Eiszellen aus dem Refrigerator und zum Transport derselben nach dem Abthaugefäss und der Eisrutsche dienen Laufkrähne, von denen die Fig. 270 und 271 Abbildungen geben. Beide sind von der Maschinenfabrik Augsburg geliefert, und zwar ist ersterer ein Handkrahne, der andere von der Transmission bewegt. Es wird stets eine Querreihe von Zellen ausgehoben und transportirt. Nach der Entleerung werden die Zellen zurücktransportirt und in den Refrigerator wieder niedergelassen. Der Antrieb dieser Laufkrähne wird sehr verschiedenartig gemacht, aber die abgebildeten Ausführungen der Maschinenfabrik Augsburg zeichnen sich, wie alle Fabrikate dieser Firma, durch bemerkenswerth gute Konstruktion und vorzügliche Arbeit aus.

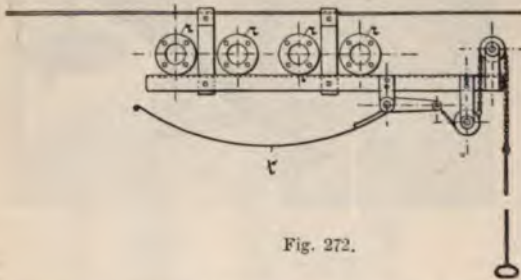


Fig. 272.

Aufang-
apparat des
Salzwassers
von
A. Freund-
lich in
Düsseldorf.

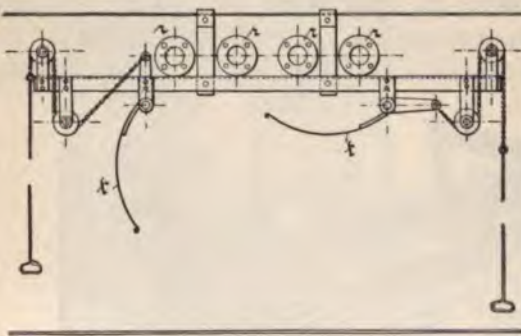


Fig. 273.

verschiedenartig gemacht, aber die abgebildeten Ausführungen der Maschinenfabrik Augsburg zeichnen sich, wie alle Fabrikate dieser Firma, durch bemerkenswerth gute Konstruktion und vorzügliche Arbeit aus.

A. Freundlich in Düsseldorf hat eine Vorrichtung zum Auffangen und Fortleiten des Schmelzwassers von Kühlrohren patentiren lassen, Nr. 103456 D. R.-P. Der Wortlaut des Patents nebst Abbildung Fig. 272 und 273 folgt hier.

Kellerkühlrohre mit Salzwasserumlauf leiden an dem Uebelstande, dass dieselben sehr bald einen dicken Eis-

ansatz erhalten, welcher eine Isolirschicht bildet, die die Abgabe der Kälte verhindert. Besonders ungünstig macht sich dieser Uebelstand bei Rippenkühlrohren geltend, welche sich, so lange sie frei von Eis sind, vorzüglich bewähren. Werden dieselben aber für eine so niedrige Temperatur benutzt, wie sie die Lagerkeller erfordern, so frieren die Zwischenräume zwischen den Rippen gänzlich zu und letztere werden dadurch vollständig wirkungslos. Um nun das Bereifen der Rohre zu vermeiden, ist es zweckmässig, den Salzwasserumlauf zeitweise zu unterbrechen, damit der Eisansatz abschmilzt. Das entstehende Schmelzwasser enthält jedoch ziemlich viele schädliche Keime, Schmutz u. s. w. und verunreinigt den Keller. Um nun das Schmelzwasser während des Stillsetzens des Salzwasserumlaufs aufzufangen und in den Senkkanal abzuführen, ohne dass die Auffangvorrichtung beim Betriebe der Anlage die Kälteausstrahlung hindert, soll die

auf der Zeichnung in den Fig. 272 und 273 dargestellte Einrichtung dienen.

Es sind hierbei unter den Rippenrohren r , die in beliebiger Weise angebracht werden können, Tropfschalen t angeordnet, welche zweckmässig so breit sind, dass sie das Tropfwasser von mehreren Rohren aufnehmen können. Diese Schalen sind drehbar gelagert, derart, dass sie sich während des Betriebes nach unten umklappen lassen, damit die Kälte ungehindert nach unten dringen kann. Wird der Salzwasserumlauf unterbrochen, so werden die Tropfschalen gehoben; dieselben nehmen das Wasser auf und leiten es nach dem Senkkanal oder dergl.

Das Heben kann, wie bei der gezeichneten Ausführungsform, durch über Rollen geführte Ketten, Hebel oder dergl. erfolgen. Es können auch Gegengewichte angebracht werden, die das Gewicht der Schalen ausgleichen.

Luftexpansions-Maschinen.

In England sind von Kirk Maschinen nach diesem System gebaut worden, ohne dass sehr wesentliche Erfolge damit erzielt worden sind.

In Deutschland erhielt der Verfasser im Jahre 1867 für seine Firma Münnich & Co. in Chemnitz ein Patent in Preussen, Sachsen u. s. w. auf eine Luftexpansionsmaschine, die in Fig. 274 bis 277 abgebildet ist. Behrend's Luft-expansionsmaschine.

Dieselbe gründet sich auf folgende Sätze der mechanischen Wärmetheorie.

Bringt man ein Volumen V trockener atmosphärischer Luft von der Temperatur t° und der Spannung von p Atm. auf das Volumen v_1 , so geht die Temperatur derselben in eine andere t_1° und die Spannung p in p_1 über, und zwar finden dafür folgende Relationen statt:

$$1) \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{z-1}{z}} = \left(\frac{v}{v_1}\right)^{z-1} = \frac{a+t_1}{a+t},$$

worin $a = 273^\circ$ und $z = 1,410$ das Verhältniss der specifischen Wärme der Luft für konstanten Druck und konstantes Volumen bedeutet. Die obige Doppelgleichung setzt voraus, dass während der Volumenänderung dem Körper Wärme weder zugeführt noch entzogen wird, und dass während des ganzen Verlaufes der Volumenänderung die Luft einen Druck überwindet, welcher ihrem eignen Druck gleich ist, dass also das Aenderungsgesetz:

$$p \cdot v^z = \text{Const.}$$

dabei erfüllt ist.

Die Gleichung (1) zeigt z. B. für $v > v_1$, dass $t < t_1$ und $p < p_1$ ist, dass also bei Zusammendrückung der Luft Temperatur und Spannung

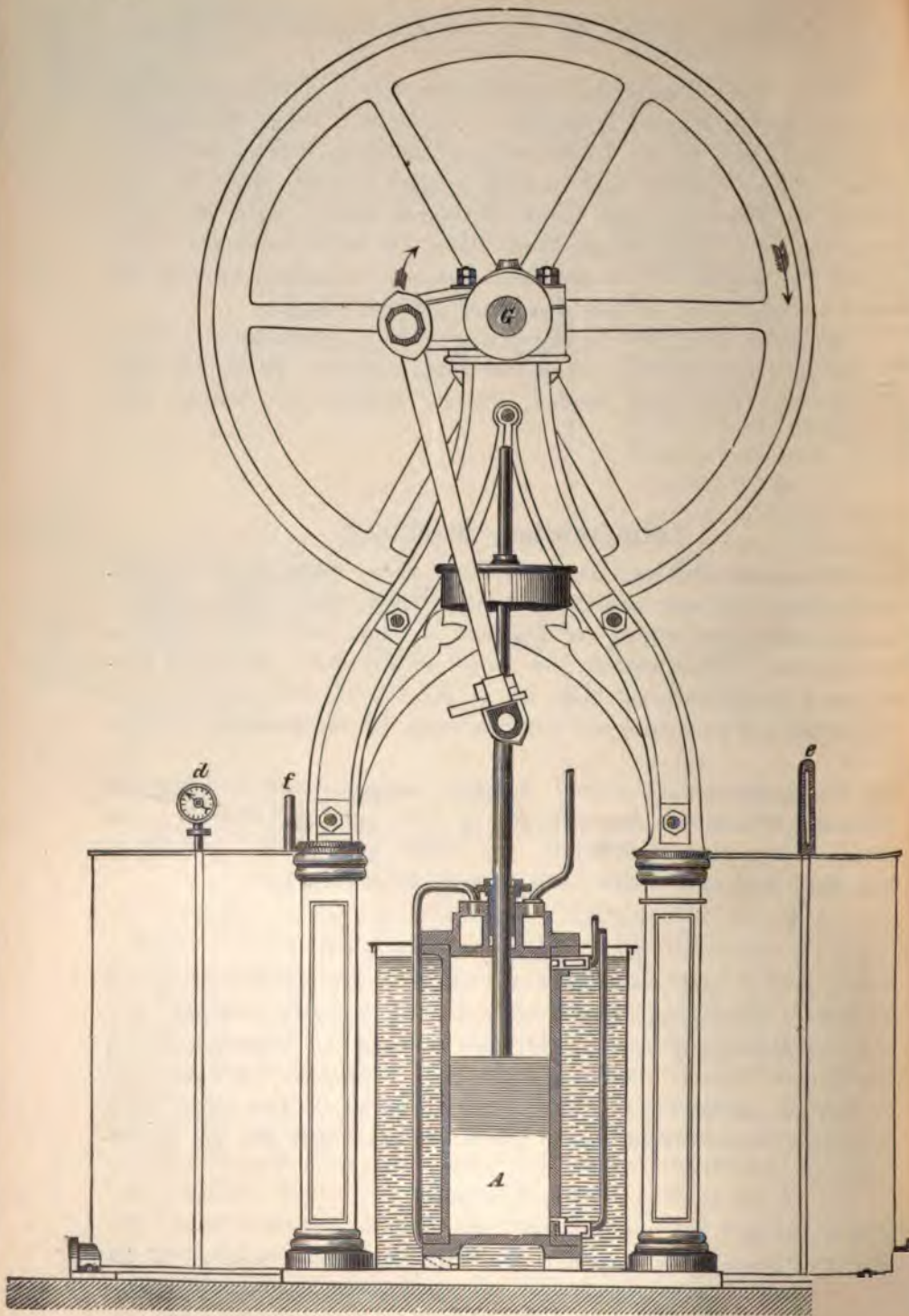


Fig. 274.

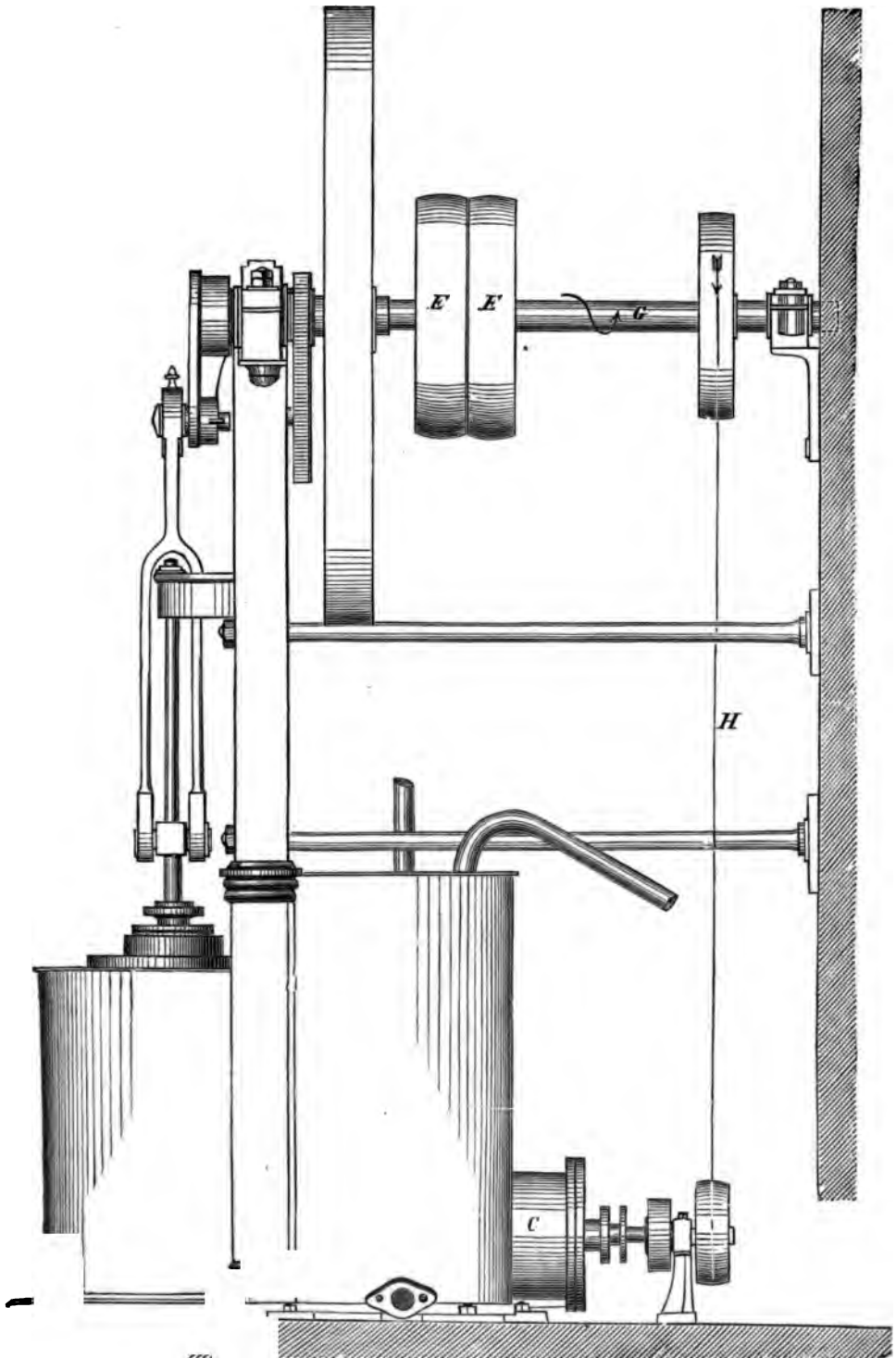
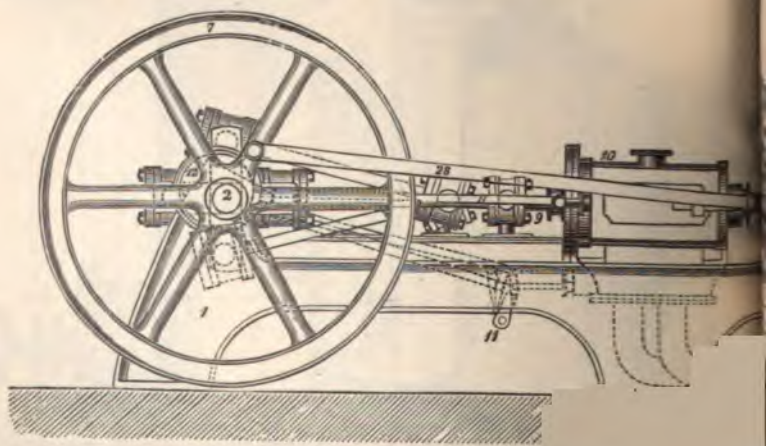
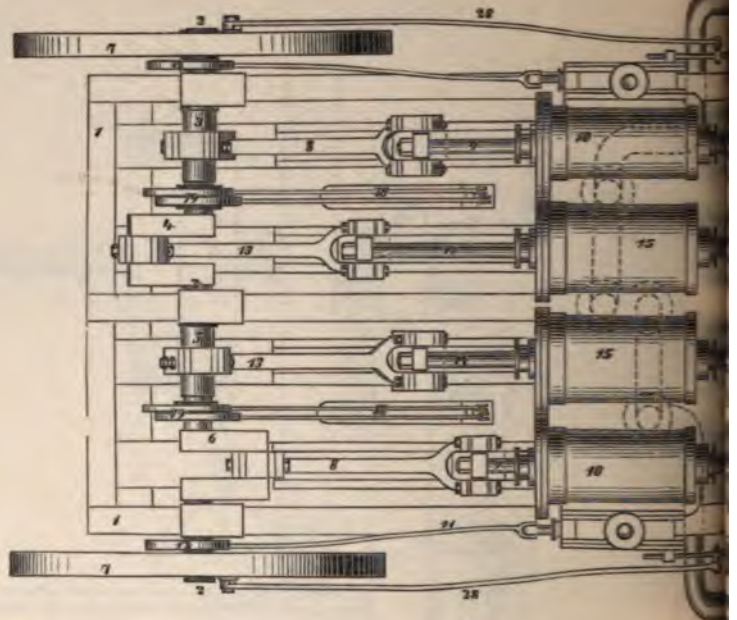
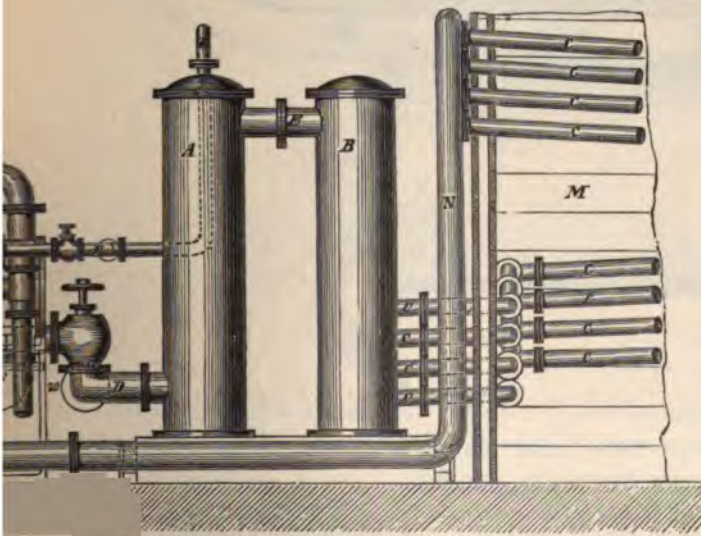
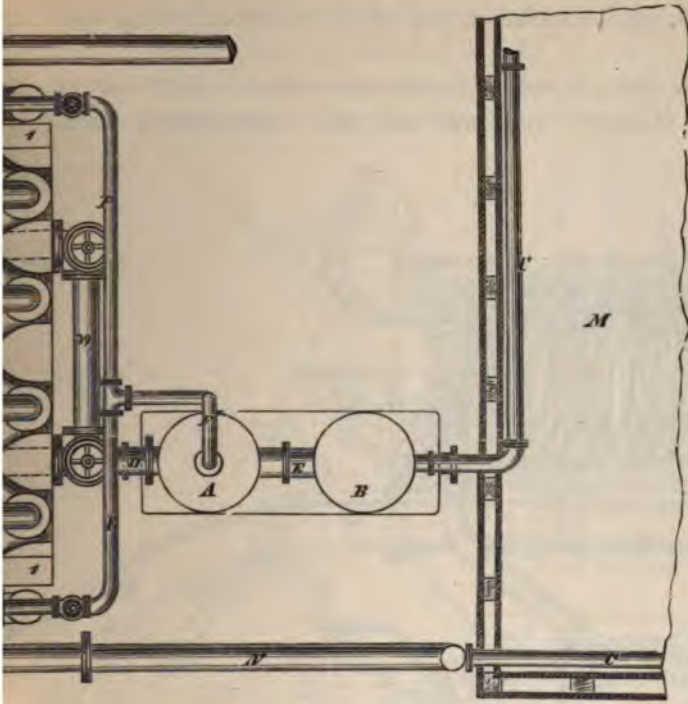


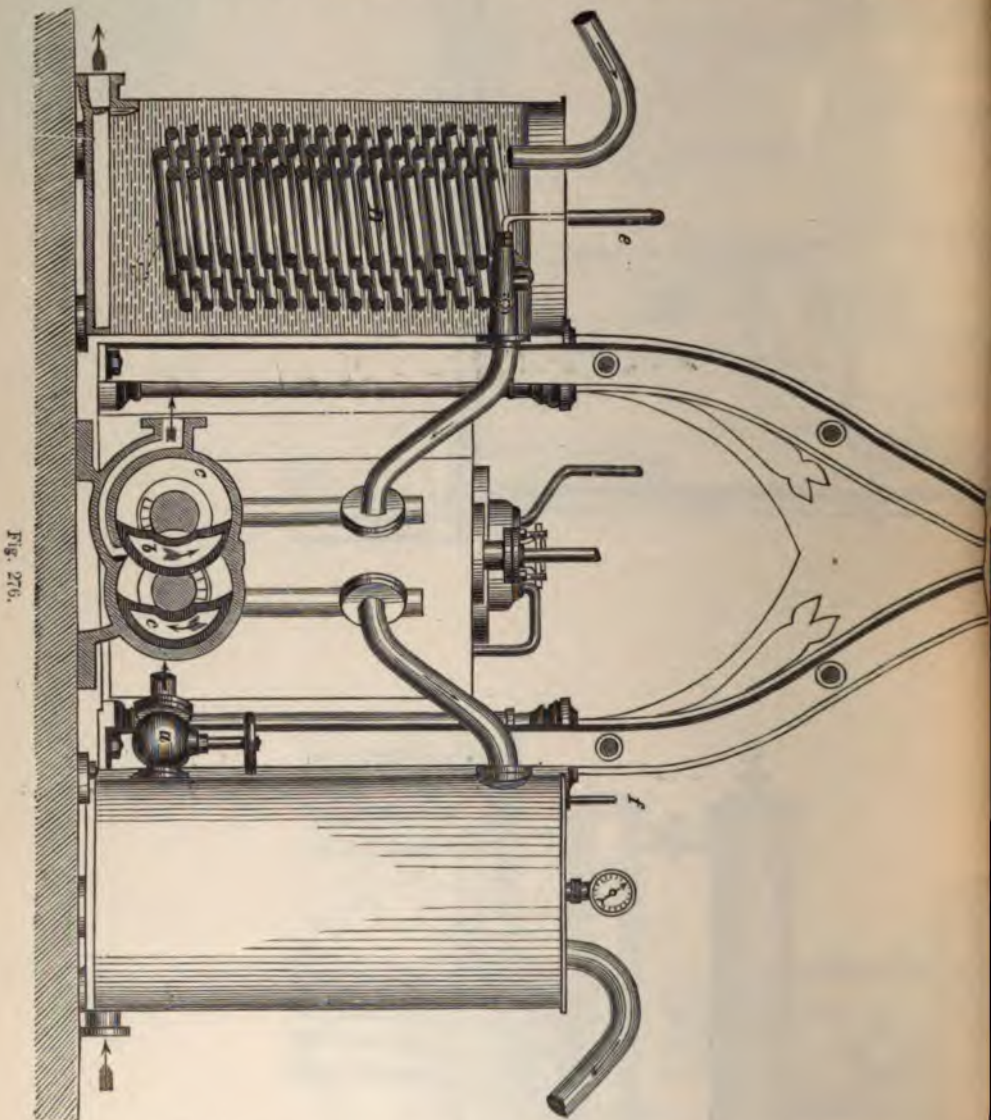
Fig. 276.





derselben wachsen, und umgekehrt die letzteren sinken, wenn die Luft ausgedehnt wird.

Wollte man einer durch Kompression erhitzten Luft wieder die niedere Spannung p geben, so könnte man dies wieder durch Expansion



nach Gleichung (1) thun, oder durch Wärmeentziehung bei konstantem Volumen, wofür die Gleichung gälte:

$$2) p = \frac{a + t_2}{a + t_1}, \text{ worin } t_2 \text{ die Endtemperatur ist.}$$

Durch Vergleichung der Relationen unter (1) und (2) erkennt man sofort die Richtigkeit der Ungleichung $t_2 < t_1$.

D. h., wenn man atmosphärische Luft von der Temperatur t und der Spannung p komprimirt, wobei Volumen und Spannung sich nach einem

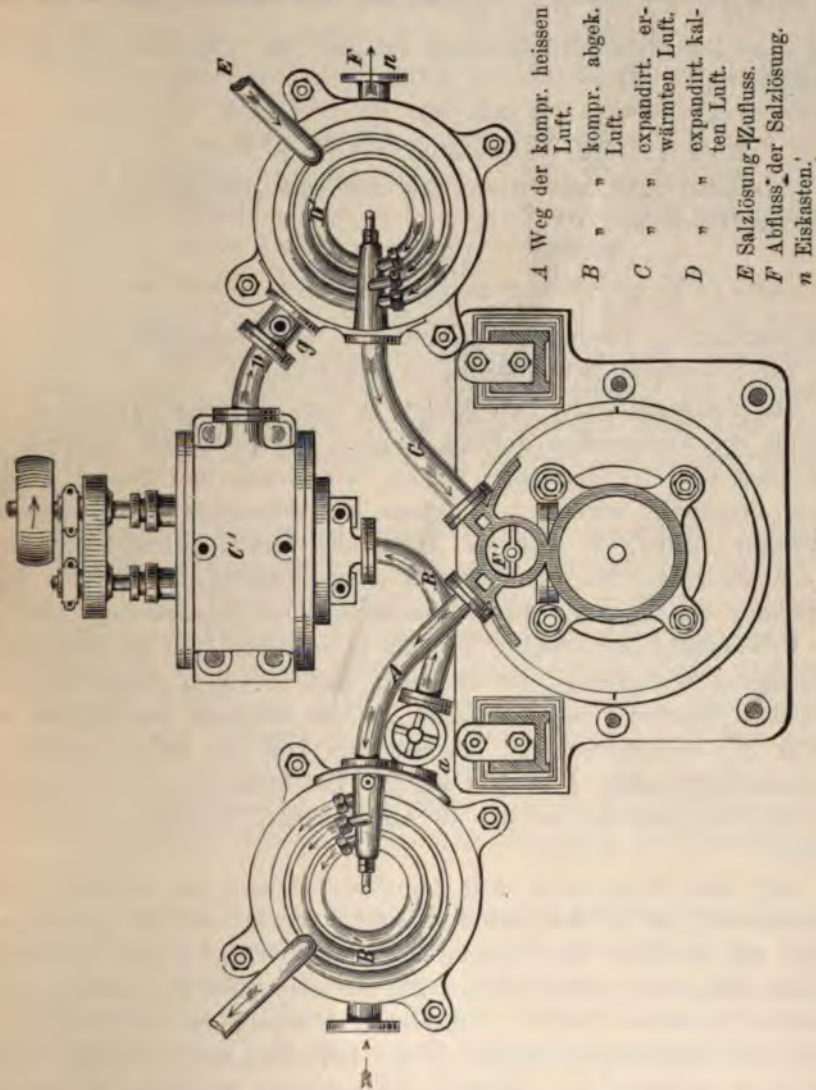


Fig. 277.

Gesetze ändern, welches durch die Gleichung der adiabatischen Kurve ausgedrückt wird, und man kühlt, ohne das Volumen zu ändern, die durch die Kompression erhitzte Luft ab, bis wiederum die Anfangsspannung p hergestellt ist, so erhält man nicht wieder die Anfangstemperatur t , sondern eine geringere t_2 , wie sie die Gleichung (2) ergibt.

Würde beispielsweise in der Maschine Luft von 1 Atmosphäre Spannung und einer Temperatur von 15° auf 10 Atmosphären zusammengedrückt, so würde nach Gleichung (1) entstehen:

$$\left(\frac{10}{1}\right)^{\frac{1,410-1}{1,410}} = \frac{273+t_1}{273+15}, \text{ woraus sich ergibt } t_1 = 303^\circ.$$

Wird diese Luft in der Kühlschlange auf nur 200° abgekühlt, so ist nach Gleichung (2)

$$\frac{p^1}{10} = \frac{273+200}{273+303}, \text{ also } p_1 = 8,2.$$

Expandirt man nun wieder bis auf eine Atmosphäre, so ergibt wiederum Gleichung (1)

$$\left(\frac{1}{8,2}\right)^{\frac{1,410-1}{1,410}} = \frac{273+t_2}{273+200}, \text{ also } t_2 = -32^\circ.$$

Hätte man auf $\frac{1}{2}$ Atmosphäre expandirt, so wäre entstanden $t_2 = -70^\circ$.

Die Anordnung der Maschine ist nun folgende:

Die Kompression der Luft erfolgte in dem vertikalen Cylinder *A*, der während der Kompression gekühlt wurde. Es wurde das dadurch bewirkt, dass der Cylindermantel sowohl, wie Boden und Deckel doppelwandig hergestellt waren, in welchem Zwischenraume sich strömendes Kühlwasser befand, so dass die Abkühlung bereits während der Kompression stattfand. Der Cylinder war doppelwirkend, so dass bei jeder Umdrehung der Maschine die Kompressions- und Expansionsperiode auf jeder Cylinderseite abwechselte. Um dies zu erreichen, war ein Steuerungsmechanismus nothwendig, der in einem sich in einem hohlen Cylinder drehenden Steuercylinder *F* bestand, mittels welchem der Eintritt und Austritt der expandirten und komprimirten Luft auf beiden Seiten des Kompressionscylinders *A* bewirkt wurde. Die Steuerung war so regulirt, dass die Kompression bis auf 10 Atmosphären Ueberdruck stattfinden konnte.

Auf dem Wege nach dem Eisbildner *D* fand die Abkühlung der komprimirten Luft in dem Schlangenkühler *B* statt auf die gewöhnliche Weise, und nachdem die expandirende Luft, welche in dem rotirenden Expansionsapparat *C*, eine Behrens'sche Kreiselpumpe, gleichzeitig Arbeit durch die Expansion leistete, d. h. arbeitend expandirte, der Kühlflüssigkeit in dem Schlangentrapparat *D* der Kälteflüssigkeit Wärme entzogen hatte, trat sie durch den Steuerungsmechanismus wiederum in den Cylinder *A* ein, um von neuem komprimirt zu werden.

Mittels der Riemscheiben *EE* wird die Maschine von einer Dampfmaschine betrieben, ein Schwungrad regulirt den Gang der Maschine.

Ein Absperrventil *a* zwischen dem Kompressionsapparat und der Spirale *B* regulirt die Luftströmungen innerhalb der Maschine.

Der erwähnte Expansionsapparat *C*, die Kreiselpumpe, besteht aus zwei sichelförmigen in einander greifenden Kolben *bc*, die durch an ihnen sitzenden Kreisschiebern die nöthigen Luftabschlüsse bewirken.

Der durch die Expansion der Luft wiedergewonnene beträchtliche Theil der Kraft, welche die Kompression erforderte, wird durch den Pleum *H* wieder auf die Betriebswelle *G* zurückgeführt.

Die Spannungen und Temperaturen der Luft im Innern der Maschine können durch die Manometer *de* und die Thermometer *fg* beobachtet werden. Um ein Erhitzen des Pumpencylinders zu verhüten, sind dessen Mantel und Endflächen, wie erwähnt, mit einem Wassermantel umgeben. Durch Sicherheitsventile *hi* endlich ist einem durch irgend welchen Zufall entstandenen zu hohen Druck im Cylinder vorgebeugt.

Der oben erwähnte Kälteerzeugungsapparat von Kirk weicht in vielen wesentlichen Punkten von dieser Maschine ab. So ist dadurch, dass bei der Kirk'schen Konstruktion Erwärmung und Abkühlung in demselben Cylinder vorgenommen werden, in demselben die Anwendung eines Regenerators nothwendig, der zu Verstopfungen durch Eisbildungen Anlass giebt. Auch die Kühlflächen sind zu klein und unvortheilhaft angeordnet.

Kirk's Luft-
expansions-
maschine.

Die Maschine ähnelte der zwei Jahre später patentirten Windhausen'schen Maschine ausserordentlich. Besondere Schwierigkeiten machte die Steuerung an der Versuchsmaschine, insofern die gewählte Konstruktion ein vollkommenes Abdichten bei den hohen Spannungen erschwerte. Da sich jedoch der Verfasser an dieser Versuchsmaschine bereits überzeugte, wie gross die Verluste an Arbeit u. s. w. waren, und es ihm zweifellos erschien, dass die Ursachen derartige waren, die sich nicht überwinden liessen und die vorstehend bereits hervorgehoben sind, so liess er die Sache fallen. Die Versuche ergaben bald, dass die Herstellungskosten des Apparates so hoch lagen, dass an vortheilhafte Benutzung der Maschine kaum zu denken war.

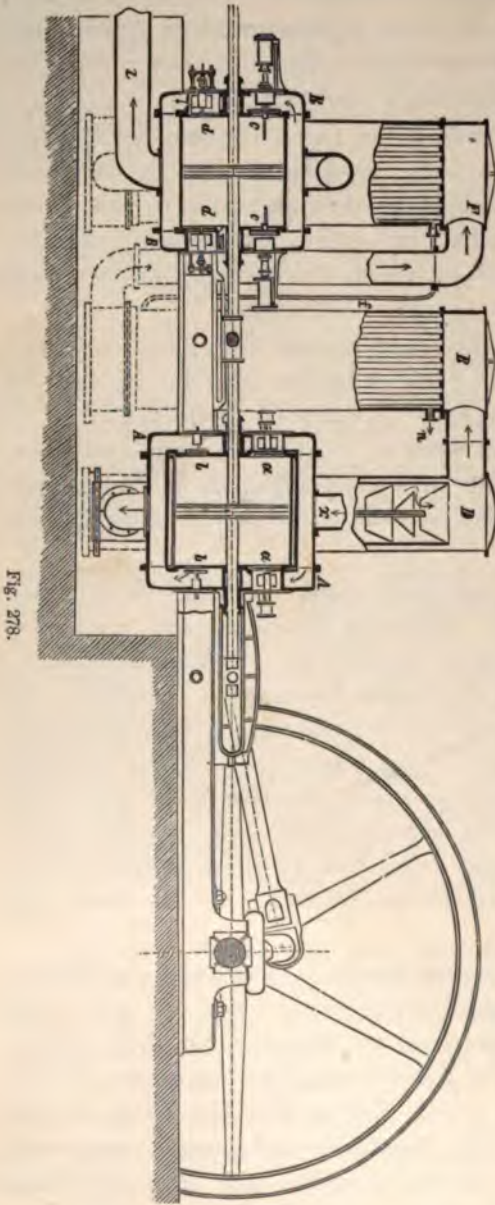
Auch die erste Windhausen'sche Maschine hatte nur einen Cylinder, in welchem aber das Ansaugen und Komprimiren der Luft auf der Vorderseite stattfand, während die Expansion der komprimirten Luft auf der Rückseite des Kolbens erfolgte. Der Kühler befand sich unter dem übrigens ebenfalls angeordneten Cylinder, dessen Kolben ebenfalls durch Kurbelmechanismus betrieben wurde. Die Maschine wurde wegen mangelnder Erfolglosigkeit dann vertauscht mit der neuen zweicylindrigen Maschine, die in Fig. 278 specieller dargestellt ist.

Bei diesen neueren Windhausen'schen Luftexpansions-

Wind-
hausen's
Luft-
expansions-
maschine.

maschinen sind zwei Cylinder vorhanden, in deren einem die Luft angesaugt und komprimirt und gleichzeitig gekühlt wird. In dem andern

Cylinder wird auf beiden Seiten des Kolbens die gekühlte Luft expandirt und mit -40° ausgestossen.



Der nebenstehend beschriebene Kompressionscylinder *A* ist an beiden Enden mit Ventilen *a* und *b* versehen. Die Ventile *a* öffnen sich nur bei dem Ansaugen der Luft. Die Ventile *b* sind so konstruirt, dass sie sich erst dann öffnen, wenn die komprimirte Luft eine bestimmte Spannung erreicht hat. Der Cylinder ist mit genügendem Kühlwasser umgeben.

Die komprimirte Luft tritt aus *A* in den Entwässerungscylinder *D*, um dort einen grossen Theil ihres schwebenden Wassers abzugeben. Von *D* gelangt die Luft in die Kühler *E* und *F*.

Die Kühler bestehen aus zahlreichen circa 4 cm weiten Röhren, welche von Kühlwasser umgeben sind, das der Bewegung der Luft entgegen fliesst. Von *F* gelangt die bis zur Temperatur des Kühlwassers abgekühlte Luft in den doppelwirkenden Expansionscylinder *B*.

Der Expansionscylinder ist bezüglich der Ventile ähnlich gebaut wie *A*, doch ohne Wasserkühlung. Die Ventile *c* werden durch Anstossen des Kolbens geöffnet, und die einströmende Luft treibt den Kolben vorwärts.

Das Ventil wird bei einer bestimmten Kolbenstellung geschlossen und die Luft arbeitet nun expandirend wie eine Hochdruckdampfmaschine, bis zum Ende des Hubes, wo die Luft nahezu die Spannung der äusseren Luft erreicht hat. Die Luft entweicht bei dem Rückgang des Kolbens *B*

durch die Ventile *d*, auf -40° bis -50° abgekühlt. Man verwendet die so gewonnene kalte Luft zur direkten Kühlung für Gähr- und Lagerkeller, zur Abkühlung von Wasser oder zur Eisproduktion. Die Windhausen'schen Maschinen sind in jüngster Zeit durch Bell und Coleman in Glasgow bedeutend verbessert worden, insofern die schon oben erwähnten, bei direkter Kühlung der Kellerräume aus dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft entspringenden Uebelstände beseitigt werden. Bisher sind die Versuche, sehr kalte Luft direkt in die Keller zu blasen, daran gescheitert, dass die der Kellerluft beigemengte Feuchtigkeit sich in Schnee und Eis verwandelte und die Maschinen fest froren resp. Brüche und Störungen bei dem Betriebe der Maschinen entstanden.

Im Princip ist die Bell-Coleman'sche Luftexpansionsmaschine den älteren gleich. Die Luft wird in dem Kompressionscylinder komprimirt, im komprimirten Zustande durch Wasser abgekühlt und expandirt dann in einem zweiten Cylinder, in welchem sie wie der Dampf in einer Dampfmaschine arbeitet. Durch die Abkühlung der Luft in komprimirtem Zustande und durch die Expansion im zweiten Cylinder wird die Luft auf die Kältegrade gebracht.

Die zum Komprimiren der Luft erforderliche Arbeit wird auch hier zum Theil von einer Dampfmaschine, zum Theil von der im Expansionscylinder arbeitenden Luft geleistet, so dass also ein Theil der im Kompressionscylinder verwendeten Arbeit im Expansionscylinder wieder nutzbar gemacht wird.

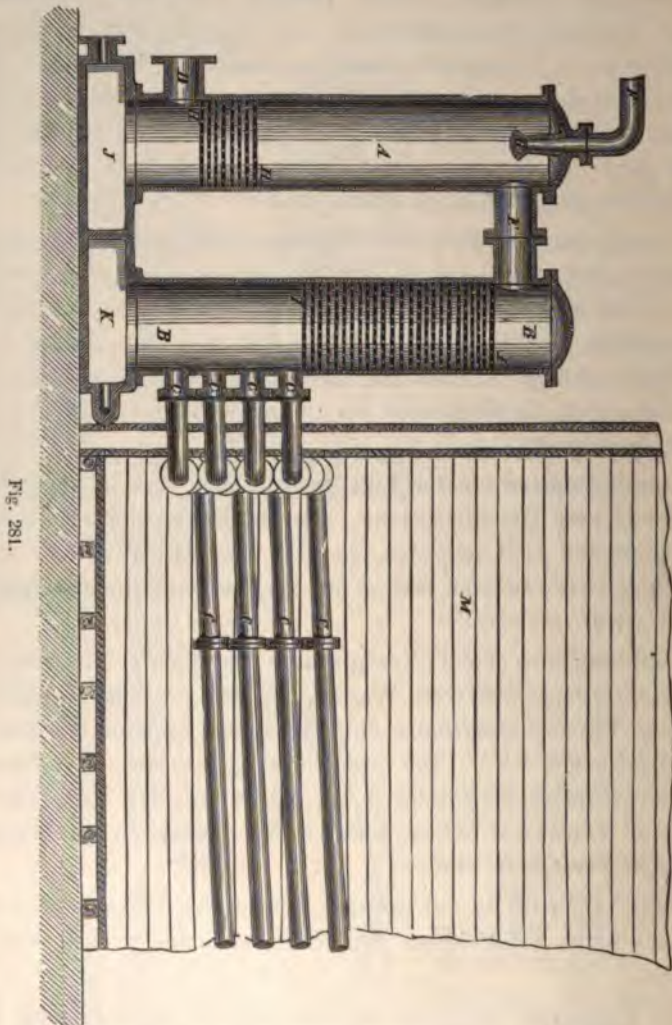
Die Kühlung der beim Komprimiren sich stark erheizenden Luft geschieht durch Einspritzen von Wasser, welches in dem zwischen Kompressions- und Expansionscylinder eingeschalteten Apparat mit Kühlrohren wieder ausgeschieden wird. Die Ausscheidung ist eine so vollkommene, dass sich im Expansionscylinder beim Abkühlen der Luft nur wenig Feuchtigkeit in Form von Schnee absetzt und Störungen im Betriebe der Maschine nicht veranlasst werden.

Die kalte Luft wird in gut isolirten Röhren den zu kühlenden Räumen zugeführt und kann auf grössere Entfernungen ohne grossen Verlust geleitet werden.

Da der Kompressionscylinder die Luft aus den zu kühlenden Räumen wieder herausaugt, so entsteht in denselben ein stetiger starker Luftwechsel, die Luft wird durch das Einspritzen von Wasser gewaschen, durch den hohen Kältegrad von allen Feuchtigkeiten befreit und den Kellern wird somit nur kalte und nahezu absolut trockene Luft zugeführt.

Um ein genaues Bild über diese Maschinen und vorstehend kurz beschriebenen Entwässerungseinrichtungen der Luft zu geben, benutze ich der Hauptsache nach die Patentbeschreibung.

Fig. 279 (s. S. 312 und 313) stellt einen Grundriss des Apparates dar, theilweise im Horizontalschnitt; Fig. 280 ist eine Seitenansicht, theilweise im Vertikalschnitt. Die Fig. 281 bis 283 sind vergrösserte Ansichten von einzelnen Theilen.



Auf einem Gestell oder einer Fundamentplatte 1 von rechteckiger Form im Grundriss wird von drei Lagern an einem Ende quer eine horizontale Welle 2 getragen, auf welcher zwei Paar Kurbeln 3, 4, 5, 6 sitzen. Die Kurbeln eines jeden Paares stehen unter rechten Winkeln zu einander. An den äusseren Enden der Welle 2 befinden sich zwei leichte Schwungräder 7. Die beiden äusseren Kurbeln 3 und 6 sind mittels Pleuelstangen 8 mit den Kolbenstangen 9 zweier horizontalen doppelt-

den Dampfzylinder verbunden, welche ihre Schieberkästen an der Oberseite haben, deren Schieber durch die Excenterstangen 11 mittels der Pleuelstangen 12 bewegt werden.

Die zwei inneren Kurbeln 4 und 5 sind mittels der Pleuelstangen 13 an den Pleuelstangen 14 zweier horizontaler doppelwirkender Luftexpansionszylinder 15 verbunden, deren Schieberkästen an den Unterseiten

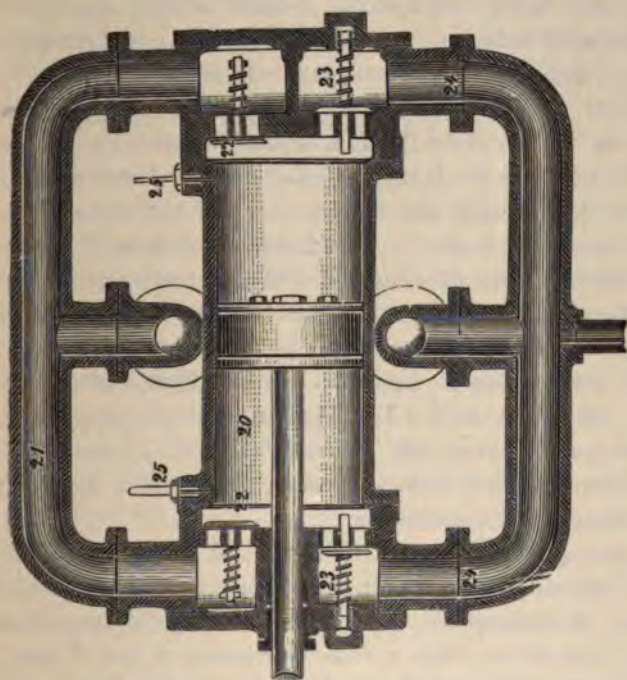


Fig. 283.

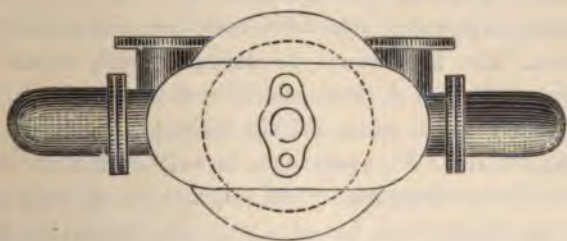


Fig. 282.

wie in Fig. 280 (s. S. 312 und 313) punktirt angedeutet. In den Schieberkästen befinden sich der gewöhnliche Vertheilungsschieber und ein separater Expansionszylinder, mittels Wellen 17 und Stangen 18 an den Pleuelstangen 12 verbunden, welche durch Excenterpaaren 19 bewegt. Die Pleuelstangen 13 der Dampf- und Luftexpansionszylinder 10 und 15 gehen durch Stopfbüchsen an den Enden jener Cylinder und ferner in der Fortsetzung durch Stopfbüchsen in die vier Luftkompressionszylinder 20, die an dem Fundament befestigt sind.

damentgestell *1* befestigt sind, und zwar an dem der Lagerung der Kurbelwelle entgegengesetzten Ende. Fig. 282 zeigt die Expansionscylinder im vergrößerten Maassstabe in der Endansicht, Fig. 283 im Längsschnitt. Die Ventile sind automatische Scheibenventile, welche durch den Druck der Luft geöffnet und durch Federn geschlossen werden und deren Konstruktion aus Fig. 283 ersichtlich ist. Die Luft tritt durch Röhren *21* und durch Ventile *22*, welche sich in den oberen Theilen der Cylinderenden befinden, in die Cylinder ein, und tritt durch die in den unteren Theilen der Cylinderenden befindlichen Ventile *23* und durch die Röhren *24* aus. An jedem Ende der Kompressionscylinder *20* befindet sich ein kleines Rohr *25* zum Wassereinspritzen, um die durch die Kompression entstehende Hitze zu absorbiren. Dieses heiss gewordene Wasser läuft dann durch die Röhren *24* und die Rohransätze *26* nach einem Klappenauslassapparat. Die Luftkompressionscylinder *20* werden ausserdem häufig noch mit einem Mantel gemacht, um auch von aussen die Luft während der Kompression zu kühlen; indessen ist die Wassereinspritzung der ökonomischere Weg, besonders dann, wenn sie mit dem nachstehend beschriebenen Apparat, um die Feuchtigkeit von der Luft zu trennen, kombinirt wird. Das Wasser, welches zum Einspritzen verwendet wird, wird durch die beiden Pumpen *27*, welche sich an den Seiten der Kompressionscylinder befinden, transportirt; die Pumpen werden durch die Stangen *28* angetrieben.

Von den Ausblaseröhren *24* durch die Röhren *29*, das Ventil *D*, gelangt die komprimirte Luft in den Apparat *AB* zum Entfernen der Feuchtigkeit. Derselbe, der in Fig. 281 in vergrößertem Maassstabe abgebildet ist, besteht aus zwei vertikalen Kesseln *A* und *B* und einem Satz Röhren *C*. Der erste Kessel *A* ist mit einem Stutzen *D* an seinem unteren Ende versehen, um die komprimirte Luft von den Kompressionscylindern eintreten zu lassen. Die Luft steigt in diesem Kessel *A* aufwärts, geht durch den Verbindungskanal *E* von oben in den zweiten Kessel *B*, in welchem sie herabsteigt und dann in die Röhren *C* gelangt. Oben im ersten Kessel *A* ist ein Rohr *F* angebracht, in welches mittels einer Pumpe Wasser von gewöhnlicher Temperatur eingespritzt wird, und zwar durch eine Brause, um das Wasser im Kessel *A* gut zu vertheilen. Da die Luft aufwärts steigt und das Wasser abwärts fällt, so findet eine innige Mischung statt. Ueber dem Eintrittsrohr *D* sind eine Anzahl enggelochte Bleche in den Cylinder gelegt, deren Löcher in der Weise versetzt sind, dass stets über einem Loch sich in der darüber befindlichen Platte volles Blech befindet. Da sich hier Luft und Wasser begegnen, so findet hier eine sehr innige Mischung statt.

In dem zweiten Kessel *B* ist eine grössere Anzahl ebensolcher Sieb-bleche in derselben Weise angebracht, durch welche nun die feuchte Luft

treicht. War es in dem ersten Kessel Zweck, durch die Mischung eine Abkühlung der Luft zu bewirken, so ist hier der Zweck, beim Durchzünden durch die Oeffnungen die Feuchtigkeit los zu werden. Sie streift sich beim Durchstreichen ab, und fällt nun die frei werdende Feuchtigkeit aus beiden Kesseln in die unten befindlichen Sammelkästen *J* und *K*, von wo es von Zeit zu Zeit abgelassen wird.

Da das angewendete Wasser, welches durch das Rohr *F* eingeführt wird, die gewöhnliche Temperatur hat, so kann es natürlich auch die Luft nicht weiter herabkühlen, und es verbleibt derselben noch die ihrem Sättigungsgrad entsprechende Feuchtigkeit, welche bei weiterem Sinken der Temperatur der Luft noch gefrieren kann.

Es ist nun Zweck der Röhrenanordnung *C*, die Luft, bevor sie in die Expansionscylinder tritt, auch von diesen Wasserdämpfen zu befreien. Diese Röhren, die eine beträchtliche Länge haben, liegen in dem Raume selbst, der gekühlt wird, und da sie nach der Eintrittsstelle hin geneigt liegen, so fliesst das Wasser, welches die sich nach und nach weiter abkühlende Luft fallen lässt, in den Röhren *C* in den Kessel *B* ab. Da der gekühlte Raum selbst nie unter den Gefrierpunkt sinkt, so kann das Kondensationswasser in den Röhren *C* auch nicht gefrieren.

An den höheren Enden stehen die Röhren *C* mit einem Rohr *N* in Verbindung, Fig. 278 und 279, welches die Luft zu den Expansionscylindern *15* führt. Nachdem die Luft in diesen Cylindern expandirt und abgekühlt ist, gelangt sie durch das Rohr *P* in den Kühlraum, in welchem sie durch eine Anzahl Röhren vertheilt wird. Durch Ventile wird der Eintritt so regulirt, dass eine gleichmässige Temperatur in dem Kühlraum gesichert wird.

Es wird in der Maschine stets dieselbe Luft verwendet, die also nur jedesmal von derjenigen Wärme befreit zu werden braucht, welche sie in dem Kühlraum *M* aufgenommen hat.

Die Konstruktion der Maschine ist so getroffen, dass die Kurbelwelle in der Mitte auseinandergeskuppelt werden kann, so dass man im Stande ist, mit einer Hälfte zu arbeiten, wenn die andere Hälfte in Unordnung ist. Dies gewährt eine grosse Betriebssicherheit.

Die kühlende Wirkung der Maschine hängt natürlich von der durch die Dampfeylinder *10* erzeugten Kraft ab, und die Temperatur in dem Kühlraum *M* kann daher regulirt werden durch Verstellung der Dampfdruckklappe.

Diese Verstellung kann automatisch erfolgen mittels folgendem Coleman'schen Apparat:

In dem Kühlraum *M* sind ein oder mehrere geschlossene Gefässe aufgestellt, welche durch ein Rohr oder Röhren mit dem Regulator communiciren. Letzterer ist ein glockenförmiges Gefäss, welches mit dem Drosselklappenhebel verbunden ist und in eine Flüssigkeit taucht, so dass

es bei verschiedenem Druck im Innern steigt und sinkt. Das Innere kommunikirt durch ein Rohr mit oben genannten, im Kühlraum aufgestellten Gefässen. Dehnt sich in diesen die Luft aus oder zieht sie sich zusammen, beides in Folge des Temperaturwechsels in dem Kühlraum, so bewirkt das ein Steigen und Fallen der Glocke, und dadurch die Regulirung der Dampfdrosselklappe.

Die automatische Regulirung erfolgt auch durch elektrische Schliessungsströme, welche durch Elektromagneten kontrollirt werden. Diese sind so angeordnet, dass sie auf die Dampfdrosselklappe wirken. Die elektrischen Ströme werden mittels Quecksilber, welches wie in einem Thermometer wirkt, geöffnet oder geschlossen, dadurch, dass Platindrähte in das Thermometerrohr an der betreffenden Stelle eingeschmolzen sind, die die Leitung vermitteln; oder das Quecksilber wird mit einem nichtleitenden Oel oder anderer Flüssigkeit kombinirt. In diesem Apparat befindet sich das Oel oder die nichtleitende Flüssigkeit in einer Glaskugel, welche mit einem Schenkel eines U förmig gebogenen Rohres kommunikirt, dessen anderer Schenkel dem Zutritt der Atmosphäre offen ist. Das U förmige Rohr enthält Quecksilber, welches das Oel abschliesst. Ein Schliessungsdraht wird in das Rohr geführt, so dass er immer mit dem Quecksilber in Kontakt bleibt; ein anderer Schliessungsdraht befindet sich in dem Schenkel, der das Oel enthält, ein dritter in dem Schenkel mit Quecksilber. Wenn nun die Temperatur in dem Kühlraum, in welchem das Thermometer aufgestellt ist, ihre obere Grenze überschreitet, so zwingt die Ausdehnung des Oeles das Quecksilber, den äusseren Schliessungsdraht zu berühren, wodurch der geschlossene Strom so auf einen Elektromagneten wirkt, dass eine Vergrösserung des Dampfzutritts durch die Drosselklappe erfolgt. Ebenso bewirkt auch das Sinken der Temperatur die Stromschliessung, die einem entgegengesetzt auf die Drosselklappe einwirkenden Elektromagneten inducirt.

Auch Glockensignale werden auf diese Weise gegeben.

Ich will hier noch die Resultate einiger Versuche mittheilen, die in Windhausen machte, und aus denen erkennbar ist, wie weit man die Abkühlung von Räumen mit Hilfe von Luftexpansionsmaschinen treiben kann. Freilich ist dabei nicht zu übersehen, dass die Abkühlung weit unter 0° in den Gewerben schädlich wirkt.

Der Raum, welcher gekühlt werden sollte, bestand aus einem nur mit rohen Brettern verschalten Gebäude von im Lichten 500 cbm Inhalt. Die Maschine stand ausserhalb dicht vor diesem Raume. In demselben waren drei Thermometer in 4 m, 8 m und 13 m Entfernung von der Ausströmungsmündung der kalten Luft aufgehängt.

Um 3 Uhr 40 Minuten Nachmittags wurde die Maschine angelassen. Der Expansionsgrad war so gestellt, dass die Luft mit -35° aus der Maschine in den der direkten Sonnenwärme ausgesetzten Raum ausblies.

Im Raume selbst zeigten alle drei Thermometer $+ 21^{\circ}$ vor Beginn der Arbeit der Maschine. Um 6 Uhr 40 Minuten war der Stand der Thermometer $- 15^{\circ}$, $- 13^{\circ}$ und $- 13^{\circ}$; in den Zwischenzeiten graduell, wie es folgende Tabelle zeigt:

Zeit	Temperatur an der Maschine	Entfernung von der Maschine			Luftkompression pro qm in kg	Temperatur der abgekühlten komprimierten Luft	Temperatur des Kühlwassers
		3,81 m	8,14 m	12,44 m			
3,40	—	$+ 21^{\circ}$	$+ 21^{\circ}$	$+ 21^{\circ}$	—	—	—
4,5	$- 35^{\circ}$	$- 1^{\circ}$	$- 1^{\circ}$	$- 1^{\circ}$	2,35	$+ 19^{\circ}$	$+ 18^{\circ}$
4,35	"	$- 8^{\circ}$	$- 7^{\circ}$	$- 7^{\circ}$	2,28	"	"
5,5	"	$- 10^{\circ}$	$- 9^{\circ}$	$- 9^{\circ}$	"	"	"
5,35	"	$- 12^{\circ}$	$- 11^{\circ}$	$- 11^{\circ}$	"	$+ 21^{\circ}$	"
6,5	"	$- 14^{\circ}$	$- 12^{\circ}$	$- 12^{\circ}$	"	"	"
6,30	"	$- 15^{\circ}$	$- 13^{\circ}$	$- 13^{\circ}$	"	"	"

Aus dieser Tabelle erhellt, dass der Raum binnen 25 Minuten um 22° abgekühlt wurde. Um die Abkühlung bis im Mittel $- 14^{\circ}$ zu treiben, bedurfte es nahezu drei Stunden, wobei zu berücksichtigen ist, dass alle festen Theile im Raume, als Wände, Boden, Dach u. s. w. an der Abkühlung theilnahmen und am Schluss des Versuches eisig beschlagen waren.

Mit einer Maschine, die stündlich 2000 bis 3000 cbm kalte Luft von $- 40^{\circ}$ auswerfen konnte, wurden folgende Resultate in der Brauerei von Peter Overbeck in Dortmund erlangt:

Die Maschine arbeitete von 9 Uhr Morgens ununterbrochen bis 7 Uhr Abends; es betrug der Druck der komprimierten Luft in den Kühlern 1,8 bis 2 Atmosphären, ausnahmsweise bis 2,2 Atmosphären. Die Temperatur des Kühlwassers zur Kontaktkühlung $+ 12^{\circ}$, die Temperatur des Einspritzwassers im Mittel $+ 20^{\circ}$, die Temperatur des abfließenden Einspritzwassers $+ 32^{\circ}$. Der Kühlwasserverbrauch war pro Stunde circa 5 cbm incl. Kesselspeisung. Sie diente zur Kühlung der Lager und Gärkeller. Die kalte Luft strömte zunächst durch einen circa 8 m langen Kanal bis etwa 1 m unter das Gewölbe der Keller. Von da ging eine etwa 19 m lange Holzrohrleitung in den Kellern entlang nach einem Sammelkasten, von welchem die Rohrleitung in zwei Richtungen abzweigte. Aus diesen Zweigrohren strömte der grösste Theil der Kälte durch ein 6 bis 7 m langes Rohr nach den Lagerkellern, der kleinere Theil nach den Gärkellern.

Die Maschine hatte 10 Minuten nach Inbetriebsetzung den thermischen Beharrungszustand erreicht, und strömte von da ab die kalte Luft mit $- 50^{\circ}$ bis $- 52^{\circ}$ C. aus der Maschine. (Da die Weingeistthermometer nur die Skala bis 40° unter Null haben, so sind die tieferen Temperaturen nur geschätzt.)

Das Thermometer am Ende des Hauptrohrleitung unmittelbar am Sammelkasten zeigte beständig unter -45° , in der Zweigrohrleitung nach den Lagerkellern war eine Temperatur von -42° . An der Deckenwölbung der Lagerkeller, ungefähr 2 bis 2,5 m seitwärts von der Kaltluftrohrmündung; zeigten sich folgende Temperaturen:

9 Uhr Morgens	nahe	$+4^{\circ}$	R.
10 "	"	-2°	"
11 "	"	$-3\frac{3}{4}^{\circ}$	"
12 "	"	$-4\frac{1}{2}^{\circ}$	"
1 "	Nachmittags	-5°	"
2 "	"	$-5\frac{1}{2}^{\circ}$	"
6 "	20 M.	$-6\frac{1}{4}^{\circ}$	"

Gegen Mittag fing es an, in den Lagerkellern im Umkreis von circa 8 m von der Rohrmündung ziemlich stark zu schneien; an den naheliegenden Bierfässern bildeten sich Eiszacken.

Bei späteren Versuchen fiel die Temperatur in den Kellern bis -10° R.

In der Hildebrandt'schen Brauerei in Pfungstadt wurde eine ebensolche Luftexpansionsmaschine und von derselben Grösse benutzt.

Die Luft strömte durch einen 11 bis 12 m langen Kanal in die Lagerkeller, ziemlich in der Mitte der Räume nahe am Boden aus.

Der räumliche Inhalt der mit einander kommunizirenden Keller war etwa 10000 cbm. Dieselben bilden zwei langgestreckte diverse Kellerräume, die im rechten Winkel zusammenstossen und resp. 95 m und 91 m lang sind. Die lichte Breite der Kellerräume ist im Mittel 6 bis 14 m, die mittlere Höhe $5\frac{1}{2}$ m.

Es wurden in den Kellerräumen 10 Thermometer etwa einen Meter über der Kellersohle aufgehängt. Die ungefähre Entfernung dieser Thermometer vom Punkte der Einströmung der kalten Luft in die Keller ist in der zweiten Horizontalkolumne der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Die Maschine wurde um 10 Uhr Vormittags in Gang gesetzt und arbeitete ohne Unterbrechung bis 10 Uhr Abends. Die Temperatur in den Kellern war vor Inbetriebsetzung der Maschine im Mittel nahe $+4^{\circ}$.

Schon nach sechsständigem Gange der Maschine zeigte das Thermometer Nr. 9 auf -8° R.; der Stand der anderen Thermometer zu verschiedenen Zeiten ist in folgender Tabelle enthalten.

Thermometer Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Entfernung m	80	90	75	50	42	35	30	25	$7\frac{1}{2}$	$12\frac{1}{2}$
4 Uhr N.	$+3^{\circ}$	$+3^{\circ}$	$+3^{\circ}$	$+2^{\circ}$	0°	-2°	0°	$+2^{\circ}$	-8°	-5°
10 " "	$+3^{\circ}$	$+3^{\circ}$	$+2\frac{1}{2}^{\circ}$	$+2^{\circ}$	-1°	-3°	-1°	$+2^{\circ}$	-9°	-6°
Am folg. T.										
7 Uhr V.	$+3^{\circ}$	$+3^{\circ}$	$+3^{\circ}$	$+3^{\circ}$	$+2^{\circ}$	$+2^{\circ}$	-2°	$+3^{\circ}$	$+1^{\circ}$	$+2^{\circ}$

Die Thermometer Nr. 1, 2, 3 und 8 waren in unmittelbarer Nähe der Eiskeller aufgehängt. Aus dem Stande dieser Thermometer erhellt, dass gerade in der Nähe der Eiskeller die Temperatur nur schwer unter 3° zu bringen war, und dass dieselben während des Ganges der

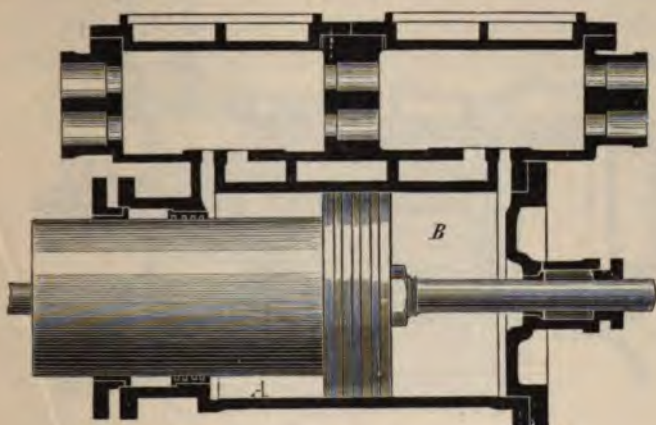


Fig. 284.

Maschine nicht nur zur weiteren Kühlung nicht beitragen, sondern der tieferen Abkühlung durch die Maschine hinderlich waren.

Diese Erscheinung lässt sich dadurch erklären, dass die wärmere Kellerluft durch das Einströmen der kalten Luft aus der Maschine nach

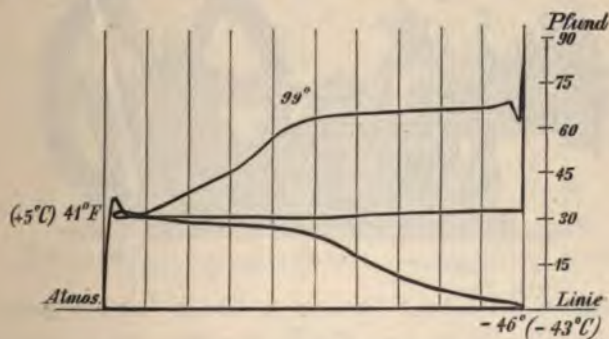


Fig. 285.

den unteren Oeffnungen der Eiskeller gedrängt wurde und das im Thauen begriffene Eis durch Strahlung und Leitung die Temperatur in der Nähe der Eiskeller nicht viel unter $+3^{\circ}$ kommen liess.

Am andern Morgen 7 Uhr, also neun Stunden nach Aufhören des Ganges der Maschine, stand die Temperatur in den Kellern noch, wie aus der letzten Horizontalkolumne vorstehender Tabelle hervorgeht, circa $1\frac{1}{2}^{\circ}$ niedriger als vor Beginn der Arbeit der Maschine am vorhergehenden Tage.

Bei dem vorbeschriebenen Einspritzverfahren des Kühlwassers wird starke Abkühlung der komprimierten Luft erreicht, stärker, als es durch Oberflächenkühlung möglich ist, und dadurch eine grössere Leistung erlangt. Aber die Maschinen werden auch complicirter und theurer. Wenn

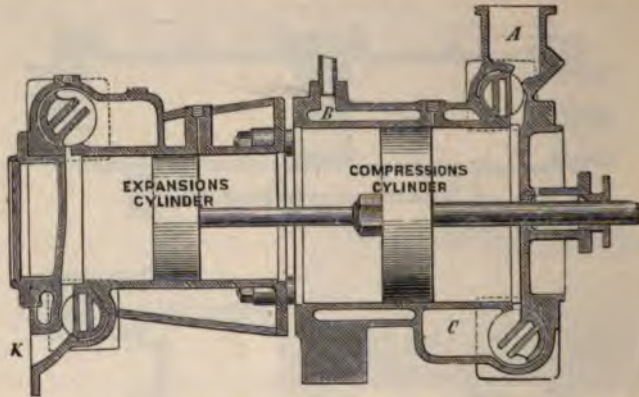


Fig. 286.

man in ihnen stets dieselbe Luft benutzt, so wird diese sehr bald fast absolut trocken werden; die geringen Verluste durch Undichtigkeiten können dann durch Ansaugen äusserer Luft ersetzt werden. Lightfoot

Lightfoot's
Luft-
expansions-
maschinen.

in London, der schon mehrfach erwähnt ist, und dessen Kaltluftmaschinen

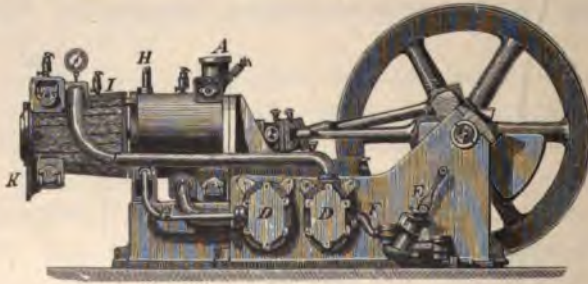


Fig. 287.

in der Werkstatt von Siebe, Gorman & Co. in London gebaut wurden, konstruirte seine Maschinen nach diesem Systeme, wobei er zwischen Expansions- und Kompressionscyylinder einen Apparat einschaltete, in welchem der durch Gefrieren der Wasserdampfbeimischungen im Expansionscyylinder entstandene Schnee ausgeschieden wird. Fig. 284 zeigt einen Durchschnitt durch einen Expansionscyylinder, mit dessen Hülfe man absolute Trockenheit der Luft erreicht. Die Luft tritt aus dem Kompressionscyylinder zuerst in den ringförmigen Raum *A*, wo sie theilweise expandirt bis über Atmosphärenspannung, so dass sie das beigemischte Wasser hier verliert, und dann erst tritt sie zu weiterer Expansion in den Raum *B*. Ein Lightfoot-

ches Diagramm ist in Fig. 285 abgedruckt, nach welchem in dem ringförmigen Raume die Luft bis $+5^{\circ}\text{C}$. bei etwa 33 Pfund engl. Druck ($2\frac{1}{3}$ Atmosphären) expandirte, wobei das Wasser ausgeschieden wird; dann expandirt die Luft in *B* weiter bis -43°C .

Eine andere Lightfoot'sche Konstruktion zu demselben Zwecke zeigen Fig. 286 und 287. Expansions- und Kompressionscylinder sind einfachwirkend und mit der offenen Seite zusammengeschrubt, während die

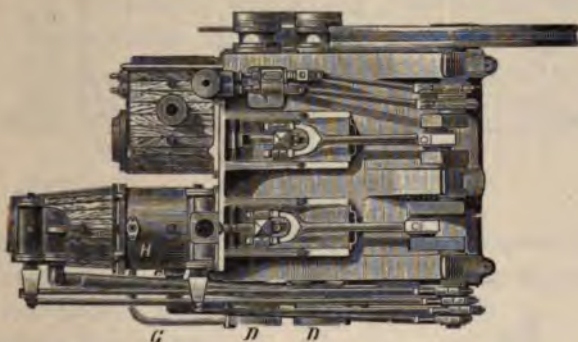


Fig. 288.

beiden Kolben auf einer gemeinschaftlichen Kolbenstange befestigt sind, welche nur im Kompressionscylinder durch eine Stopfbüchse geht. Die Ein- und Auslassventile sind Kreisschieber von Phosphorbronce, und

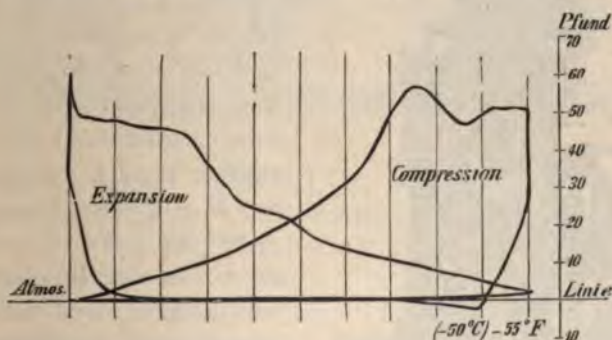


Fig. 289.

werden durch Excentrics bewegt. Das Verhältniss des Kompressionscylinders zum Expansionscylinder ist wie 1,7 zu 1 gewählt, in Rücksicht auf Volumenverminderung in Folge der niedrigen Temperatur der Luft nach der Expansion und etwaiger Undichtigkeiten. Die Luft tritt bei *A* ein, und nachdem sie im Kompressionscylinder zusammengepresst und durch den Wassermantel *B* gekühlt ist, geht sie durch das Rohr *C* in die Kühler *D*, welche im Gestell gelagert sind und aus sogenannten Kernröhren bestehen, durch die Kühlwasser circulirt mit Hülfe der Pumpe *E*,

Eintritt des Wassers bei *F*, Austritt durch Rohr *G* nach dem Kompressormantel, von wo es durch Rohr *H* abfließt. Das Niederschlagswasser aus der Luft wird aus den Kühlern durch belastete Ventile von Zeit zu Zeit

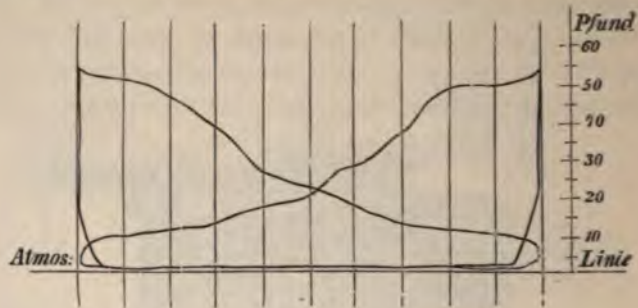


Fig. 290.

entfernt. Die komprimierte Luft passirt die beiden Kühler *D* nach einander, und gelingt es, dieselbe bis auf 3° über die Temperatur des eintretenden Kühlwassers abzukühlen, indem sich die Kühlung nach dem Princip der Gegenströmung vollzieht. An Kühlwasser wird etwa 3 Liter auf den Kubikmeter Luft gebraucht. Von den Kühlern passirt die Luft durch das Rohr *J* in den Expansionscyylinder *J*₁ und nachdem dort etwa 60 Proc. der zur Kompression erforderlichen Arbeit wieder durch die Expansion nutzbar gemacht wurde, tritt sie bei *K* mit einer Temperatur von -40° bis -70° C. aus, je nach der Grösse der Maschine, der Geschwindigkeit, dem Grade der Expansion und der Temperatur des Kühlwassers. Die Dampfmaschine liegt neben dem Kompressor. Lightfoot lieferte solche Maschinen mit einer Leistung von 50 bis 1700 Kubikmeter kalter trockener Luft in der Stunde, und verwendete bei kleinen Maschinen für Gewerbe häufig Gasmotoren zum Antriebe. Fig. 289 zeigt Diagramme von einer solchen Maschine, rechts das vom Kompressionscyylinder, links das vom Expansionscyylinder. Kompression

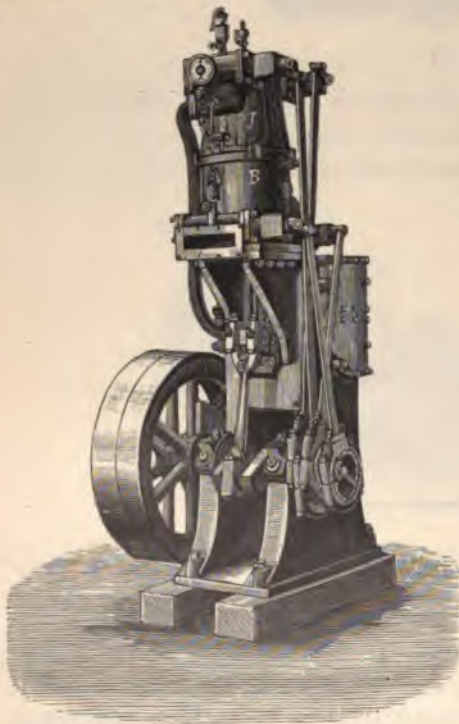


Fig. 291.

entfernt. Die komprimierte Luft passirt die beiden Kühler *D* nach einander, und gelingt es, dieselbe bis auf 3° über die Temperatur des eintretenden Kühlwassers abzukühlen, indem sich die Kühlung nach dem Princip der Gegenströmung vollzieht. An Kühlwasser wird etwa 3 Liter auf den Kubikmeter Luft gebraucht. Von den Kühlern passirt die Luft durch das Rohr *J* in den Expansionscyylinder *J*₁ und nachdem dort etwa 60 Proc. der zur Kompression erforderlichen Arbeit wieder durch die Expansion nutzbar gemacht wurde, tritt sie bei *K* mit einer Temperatur von -40° bis -70° C. aus, je nach der Grösse der Maschine, der Geschwindigkeit, dem Grade der Expansion und der Temperatur des Kühlwassers. Die Dampfmaschine liegt neben dem Kompressor. Lightfoot lieferte solche Maschinen mit einer Leistung von 50 bis 1700 Kubikmeter kalter trockener Luft in der Stunde, und verwendete bei kleinen Maschinen für Gewerbe häufig Gasmotoren zum Antriebe. Fig. 289 zeigt Diagramme von einer solchen Maschine, rechts das vom Kompressionscyylinder, links das vom Expansionscyylinder. Kompression

gte bis 50 Pfund englisch Ueberdruck, die Eintrittstemperatur des Kühlers war 23°C . und die Endtemperatur der Luft nach der Expansion 0°C . Fig. 290 zeigt das Diagramm des dazu gehörigen Dampfeylinders.

Aus früheren Besprechungen ist klar geworden, dass in Kaltluftmaschinen die Kompression isothermisch, die Expansion adiabatisch vor gehen soll. Es ist daher nöthig, dass der Kompressor den Wasserstetel unbedingt behalte, und dass der Expansionscylinder gut eingehüllt de, um gegen Erwärmung von aussen geschützt zu sein. Lightfoot t über den Kraftaufwand seiner Maschinen an, dass etwa 18 indicirte rdekräfte nöthig sind, um 1000 Pfund englisch (453,6 kg) Luft in der ode von $+60^{\circ}\text{F}$. ($15,5^{\circ}\text{C}$.) bis auf -80°F . (-62°C .) abzukühlen

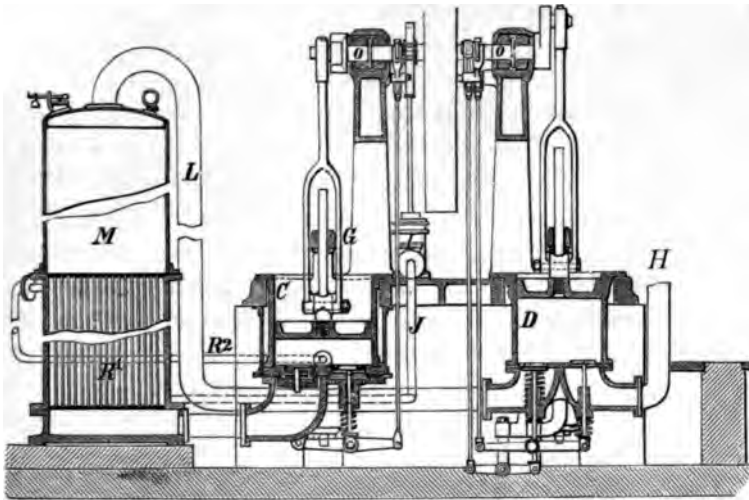


Fig. 292.

Kühlwasser von 60°F . ($15\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$.), das heisst eine Leistung von 00 engl. Wärmeeinheiten (8390 metrische Calorien), oder mit einer chine von $2\frac{1}{2}$ Pfund (1,13 kg) Kohlenverbrauch auf die Pferdekraft

Stunde nur $\frac{33300}{2\frac{1}{2} \cdot 18} \left(\frac{8390}{1,13 \cdot 18} \right) = 740$ engl. Wärmeeinheiten pro ad (412 metrische Calorien pro kg) Kohle. Obwohl das Resultat gegen den früher besprochenen Kompressionsmaschinen, die mit einem dampfungsmedium arbeiten, sehr zurücktritt, so giebt es doch zuen Fälle, wo direkte Nutzbarmachung trockner kalter Luft diese Manen vortheilhaft anwenden lässt.

In Fig. 291 ist eine der kleinsten Maschinen von sehr gedrungener struktion abgebildet, welche in England zuweilen Verwendung in ratschlächtereien und anderen Gewerben finden.

Erwähnenswerth ist ferner die Kaltluftmaschine von Paul Giffard Paris.

Giffard's
Luft-
pansions-
maschine.

Die Maschine hat nur den Zweck, kalte Luft herzustellen, um letztere zur Eisbereitung verwenden zu können. Die Maschine (Fig. 292) besteht aus dem Kompressionscylinder *C*, dem Expansionscylinder *D*, dem Luftreservoir *M* mit dem Kühlapparat *R*¹ und der Speisepumpe *J*, welche zunächst durch das Rohr *J* kaltes Wasser nach dem Kühlapparat und darauf durch das Rohr *R*² dasselbe Wasser in den um den Kompressionscylinder befindlichen hohlen Raum schafft. Die beim Aufgang des Kolbens angesogene Luft wird im Kompressionscylinder komprimirt und abgekühlt, gelangt von hier aus nach dem Kühlapparat *R*¹ und dem Reservoir *M*, um daraufhin durch das Rohr *L* nach dem Expansionscylinder *D* zu fließen und von hier durch das Rohr *H* nach dem Raum befördert zu werden, wo sie als kalte Luft Verwendung finden soll. Die Pumpenkolben wirken nur einfach und sind durch an der Aussenseite gehärtete Gummiringe, welche von dem entsprechenden Luftdrucke gegen die Cylinderwandung gepresst werden, gedichtet. Die Saug- und Zuflussventilkörper bestehen aus Stahlscheiben, dichten nur in einer Kante, werden mittels Federn gegen ihre Ventilsitze gepresst und mittels Hebel und Excenter, ebenso wie die Speisepumpe, von der Antriebswelle *O* aus bewegt.

Es ist nicht möglich, alle Konstruktionen von Kälteerzeugungsmaschinen zu beschreiben. Um aber die ersten hauptsächlichsten nicht unerwähnt zu lassen, will ich versuchen eine Zusammenstellung dieser in möglichster Vollständigkeit zu machen:

Verdampfungsmaschinen:

1824	Vallance, Verdampfungsstoff: Aether,	
1835	Perkins, „ „	
1855	Twining in Cleveland, Verdampfungsstoff: Aether,	
1860	F. Carré, „ „	
1863	Siebe, „ „	
1861	F. Carré, „ Ammoniak,	
	Siddeley & Mackey, „ Aether,	
1861	Tellier, „ Schweflige Säure,	
1864	O. Kropff (System Carré), „ Ammoniak,	
1866	Vaass & Littmann, „ „	
1872	Tellier, „ Methyläther,	
1873	C. Linde, „ Ammoniak,	
1874	Pictet, „ Schweflige Säure,	
1875	Boyle in Chicago, „ Ammoniak,	
1880	Windhausen (Internationaler Vacuum-Eismaschinen-Verein), Verdampfungsstoff: Wasser mit Absorption durch Schwefelsäure. u. s. w.	

Luftexpansionsmaschinen:

1852	Nasmon, kleine Maschine für Hand-	1867	G. Behrend, Firma Münnich & Co.,
	betrieb,	1869	F. Windhausen in Berlin,
1863	Kirk,		Paul Giffard in Paris etc. etc.

wendung der Kälteerzeugungs-Maschinen nebst Anschaffungs- und Produktionskosten.

Kälteerzeugungsmaschinen werden benutzt zur:
 ung von Flüssigkeiten, z. B. Bierwürze, Trinkwasser etc.;
 lung und Ventilation z. B. in Gärkellern, Fleischkühlhallen etc.;
 kation.

Firma Vaass & Littmann in Halle a. S. macht über die von
 ten Carré'schen Absorptionsmaschinen in nachstehender Tabelle
 ngaben.

**nsionen, Leistungen, Gewichte und Preise der kontinuierlich
 arbeitenden Absorptions-Eismaschinen
 von Vaass & Littmann in Halle a. S.**

er der Maschinen . .	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Angaben über Ab- sorptions- maschinen von Vaass & Littmann in Halle a. S.
gkeit pro Stunde kg	10	25	50	100	250	500	1000	
aschinen incl. Salmiak- chlorkalcium mit direk- ng. Mk.	3000	5000	8000	11000	18000	28500	46000	
aschinen incl. Salmiak- chlorkalcium zur Dampf- gerichtet. Mk.	3000	5160	8200	12000	19000	31500	50000	
orderl. Raum {	Länge m	2	7	8	10 ₁₅	14 ₁₅	18	20
	Breite „	2	3 ₁₅₀	4	4 ₁₅	5 ₂	5 ₁₈	6 ₅
	Höhe „	2 ₇₂₀	3 ₁₅₀	3 ₁₅	4	4 ₁₅₀	5	5 ₁₂
forderliche Kühlwasser o Stunde. Liter	150	500	750	1500	3000	6000	12000	
1 Kohle (Steinkohle) pro direkter Feuerung. kg	3	4	7	12	25	50	100	
ichen Arbeiter zur Be- direkt. Feuerung. Mann	1	1	2	2	3	4	6	
ichen Arbeiter zur Be- i Dampfheizung. Mann	—	1	1	2	2	3	4	
Betriebskraft, um die e und Wsserpumpe zu (Dampf, Wasser oder Pferdekkräfte	—	1/2	1	2	3	4	6	
fläche des Dampfkessels rieb der Dampfmaschine, heizung und des Kon- apparatus. qm	—	3 ₅	5	10	16	30	50	
Maschine . . . ca. kg	1500	4700	6000	13000	19000	26500	50500	
.. eingepackten Maschine ansport in cbm	5	12	18	30	60	120	280	

Die Gesellschaft für Linde's Eismaschinen sagt über die Anwendung der von ihr gelieferten Kältemaschinen, wie folgt:

Diese Maschinen dienen nicht nur zur billigen Produktion von Eis, sondern überall, wo dauernd oder zeitweise niedrigere Temperaturen gebraucht werden, als sie durch die klimatischen Verhältnisse dargeboten sind — sei es zur Abkühlung von Räumen oder von flüssigen oder festen Körpern in grösseren Quantitäten —, bieten unsere Maschinen das rationellste Mittel zur Erzeugung der Kälte dar und werden von uns die zur direkten Verwendung der Kälte dienenden Apparate je in die geeignete Form gebracht. Insbesondere lassen sich die Linde'schen Maschinen mit grossem Vortheil anwenden für

Anwendung
der Kom-
pressions-
maschinen
von Linde.

Bierbrauereien

- 1) zur Abkühlung des in den Bierkühlern gebrauchten Eiswassers,
- 2) zur Bedienung der „Kaltwasserschwimmer“,
- 3) zur Abkühlung, Austrocknung und Luftreinigung der Gärkeller,
- 4) zur Erhaltung der Lagerkeller auf niedriger Temperatur,
- 5) zur Ventilation der Malztennen mit kühler, feuchter Luft,
- 6) zur Eisproduktion;

Für Bierbrauereien gestaltet sich die Anwendung unserer Maschinen besonders vortheilhaft, wenn von einer gemeinsamen Maschine einerseits Wasser zur Bedienung der „Bierkühler“ und der „Kaltwasserschwimmer“ und andererseits Salzwasser zur Bedienung der Luftkühlapparate in Gähr- und Lagerkellern abgekühlt wird, wobei der Kasten, in welchem die Salzwasserkühlung erfolgt, gleichzeitig als Eisgenerator dient. Da in einem solchen Falle immer gerade soviel Eis producirt wird, als der direkte Kälteverbrauch für die übrigen Zwecke es gestattet, so lässt sich eine vollkommene und intensive Ausnutzung der Anlage erzielen, bei welcher die Kosten sich für mittlere und grössere Brauereien wesentlich niedriger stellen, als bei Verwendung von Natureis. Die sonstigen Vortheile — kein Verschlammern der Bierkühler, Reduktion der Handarbeit bei den Schwimmern und vollkommene regulirbare Wirkung derselben, Beseitigung von Schimmelbildung im Gärkeller und völlige Beherrschung der Gärung, Raum- und Eisersparniss in den Lagerkellern — sind von den Bierbauern längst allgemein anerkannt und sichern der maschinellen Kühlung ihre Ueberlegenheit gegenüber der Natureiswirthschaft auch bei kleinen Brauereien.

Butterfabriken und Molkereien

- 1) zur Abkühlung der Milch während der Rahmbildung,
- 2) der Buttermasse und der Erstarrungsräume in den Kunstbutterfabriken;

Chemische Fabriken verschiedener Art, insbesondere Farbenfabriken zur Durchführung von Krystallisationsprozessen etc. (die Trennung zweier Körper durch Destillation lässt sich in vielen Fällen mit grossem Vortheil durch Erstarrung des einen ersetzen);

Chokoladefabriken zur Abkühlung und Austrocknung der Erstarrungskammern;

Konservirung von Fleisch, Fischen, Butter, Milch, Eiern, Getreide, Gemüse etc.;

Destillationsanstalten

- 1) zur Abkühlung des Kondensationswassers,
- 2) zur direkten Abkühlung der Maische,
- 3) zur Konzentration durch Ausscheidung des Wassers als Eis;

Dynamitfabriken zur Abkühlung beim Nitriren;

Eisbahnen für Schlittschuhläufer (die Patent- und Musterschutzausstellung in Frankfurt a. M. war mit einer Eisbahn unseres Systemes von ca. 600 Quadratmeter ausgestattet);

Eisfabriken für Produktion von Eis in allen Qualitäten und Formen;

Fleischhallen zur Abkühlung der Aufbewahrungsräume und zur Eisfabrikation;

Gärtnerei: Kalthäuser, Verlegung der Blüthezeit von Zierpflanzen etc.;

Gummifabriken zum Erstarren der Gummimasse zwecks leichter Bearbeitung;

Hotels, Restaurants zur Abkühlung der Wein-, Bier- und Fleischkeller, Kühlschränke etc.;

Paraffinfabriken zum Auskrystallisiren des Paraffins;

Schiffe zur Abkühlung der Vorrathskammern, der Passagierräume und des Trinkwassers, sowie zur Eisfabrikation;

Schlächtereien zur Abkühlung der Aufbewahrungsräume;

Spitäler zur Ventilation und Kühlung der Krankensäle, zur Konservirung der Vorräthe und zur Eisproduktion;

Stearinfabriken zur Abkühlung der Erstarrungskammern und der Stearinkuchen (nach eigenem System);

Transporte von Fleisch in frischem oder gefrorenem Zustande, Milch etc. in Schiffen und Bahnzügen. Für diese Verwendung führen wir in neuerer Zeit Kältemaschinen nach Specialmodellen von äusserst compendiöser Form aus, worüber wir auf Anfrage gern nähere Auskunft ertheilen;

Weinkellereien zur Erhaltung kühler Räume (insbesondere für Schaumwein), zur Konzentration der nicht transportfähigen, südlichen Weine statt Zusetzung von Alkohol;

Zuckerfabriken zur Kühlung bei der Melasseentzuckerung.

Kühlmaschinen für Abkühlung von Flüssigkeiten und für Raumkühlung.

Diese Maschinen sind meist zunächst für die Abkühlung einer Flüssigkeit eingerichtet, bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt in der Regel gewöhnliches Wasser, bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt eine Salzlösung. Diese Flüssigkeit kann, wenn sie als Träger der Kälte für andere Kühlzwecke dienen soll, in Rohrleitungen auf weite Strecken transportirt und verzweigt werden, um an den gewünschten Orten die Kälte abzugeben. Handelt es sich beispielsweise um Abkühlung von Räumen, so werden die weiter unten unter „Luftkühlung“ erwähnten Einrichtungen für die Kälteübertragung getroffen.

Aber auch die direkte Abkühlung der Luft durch die Verdampferspiralen bietet keine Schwierigkeiten und wird in neuerer Zeit, namentlich bei kleineren Maschinen, vielfach mit gutem Erfolg angewendet.

Im Falle namhaften Kältebedarfes erscheint auf keine andere Weise — auch nicht bei günstigster Beschaffung von Natureis — ein so billiger und vortheilhafter Betrieb erreichbar, als durch rationelle Benutzung unserer Kühlmaschinen, wenn man die Kosten für Aufbewahrung, Transport und Handhabung des Eises in Rechnung zieht.

Luftkühlung.

Mit besonderer Aufmerksamkeit haben wir uns schon seit Jahren der Aufgabe gewidmet, grosse Räume auf beliebiger, niedriger Temperatur zu erhalten und deren Feuchtigkeitsgrad nach Bedürfniss zu vermindern und hierbei in allen Gebieten der Industrie, welche von maschineller Luftkühlung Gebrauch machen, die besten Erfolge erzielt. Gegenüber der Erhaltung niedriger Temperaturen durch Lagerung von Eis bietet die maschinelle Kühlung neben billigerem Kostenpreis und qualitativen Vorzügen noch den Vortheil, dass Lagerräume gewonnen resp. erspart werden, und dass Kälte nur gerade dann und in dem Maasse verbraucht wird, als nöthig.

Für Bierbrauereien (Abkühlung der Gähr- und Lagerräume), Schlachthöfe und Privatschlächtereien (Kühlung der Fleischhallen), Fleischgefrieranlagen, Transportschiffe für Fleisch und sonstige Nahrungsmittel, Schokoladefabriken, Stearinfabriken (Kühlung und Austrocknung der Erstarrungskammern) etc. liefern wir komplette Einrichtungen mit voller Garantie für den verlangten Effekt.

Wir führen die Luftkühlapparate nach verschiedenen Konstruktionen aus, entsprechend den Anforderungen, welche hinsichtlich Temperatur und Trockenheit der Luft für die verschiedenen Kühlzwecke gestellt werden und je nachdem natürliche oder künstliche (maschinelle) Ventilation in Anwendung kommt. Die Uebertragung der producirtten Kälte an die Luft erfolgt entweder direkt durch die Verdampferspiralen der Kältemaschine (welche jedoch zu diesem Zwecke bedeutend vergrössert werden müssen) oder durch Vermittelung einer gekühlten Salzlösung und unter Anwendung von Rohrsystemen, rotirenden Kühlapparaten oder Regenkühlapparaten.

Stets wird von uns bei Konstruktion der Kühlapparate in erster Linie darauf Rücksicht genommen, dass der beabsichtigte Zweck mit einem möglichst geringen Aufwand an Kälte und Kraft erreicht wird.

Die Kosten der Luftkühlapparate sind je nach der Konstruktion sehr verschieden und betragen ungefähr 50—80 Proc. vom Preis der Kühlmaschine. (Siehe vorstehende Tabelle.)

Eismaschinen.

D. R.-P. Nr. 26981, 43426, 60368, 62652.

Wir liefern Eismaschinen mit dreierlei Generatoren:

- 1) mit Generatoren zur Produktion des gewöhnlichen Kunsteises;
- 2) mit Generatoren eigener Konstruktion für Produktion von Krystalleis in Blöcken von beliebigen Dimensionen mittels Rührwerk;
- 3) mit Generatoren zur Produktion von Krystalleis mittels Wasserdestillation nach unserm patentirten Verfahren.

Die Mehrpreise für die zur Produktion krystallhellen Eises eingerichteten Eismaschinen richten sich nach Form und Grösse der Eisstücke.

Unsere grösseren Generatoren (von Modellnummer IV ab) sind mit besonderen Einrichtungen versehen, um das Einfüllen des Gefrierwassers, das Herausheben und Ablösen des Eises auf mechanischem Wege mit möglichster Umgehung von Handarbeit auszuführen, so dass selbst die grössten Generatoren für Produktion bis 1000 Centner pro Tag durch einen einzigen Maschinisten mittels Transmissionslaufkranken bedient werden können. Die Laufkranken werden auf Verlangen mitgeliefert und sind in den nachstehenden Lieferpreisen nicht inbegriffen.

Die Herstellungskosten für Eis mittels unserer Maschinen stellen sich so niedrig, dass bei grösseren Mengen nirgends die Beschaffung von Natureis unter gleichen Bedingungen, d. h. gleichmässig während des ganzen Jahres, zum gleichen Preise möglich ist. Die mit unseren Maschinen arbeitenden Eisfabriken liefern thatsächlich selbst an Orten, welche für Natureisbeschaffung sehr günstig liegen; wie z. B. München, das Eis

Durchschnittspreisen, welche weit unter den bisherigen Durchschnittspreisen für Natureis bleiben.

Für die Tropen kommen unsere Compoundeismaschinen (D. R.-P. Nr. 59 977) zur Anwendung, worüber besondere Prospekte zu Diensten sein werden.

Leistungen und Preise der Eismaschinen
(für gemässigttes Klima).

Modell Nummer	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
Produktion ¹⁾ pro Stunde in Kilogramm	25	50	100	250	500	1000	1500	2200		
Arbeitsverbrauch ²⁾ in Pferdestärken	2	3	5	10	18	35	48	70		
Benötigtes Kondensationswasser ²⁾ pro Stunde in Hektoliter	3	6	12	30	60	120	180	270		
Eispreise ³⁾ der Eismaschinen Gene- ratoren für gewöhnliches Eis mit Tafeln von je 100 kg, Mk.	eingerrichtet zum Transmissionsbetrieb		6000	9000	13000	21000	35000	60000	88000	125000
	mit Dampf- maschinen	ohne Kondensation mit Schiebersteuerung	7800	11500	16000	25200				
		mit Kondensation und Ventilsteuerung					42500	71000	102000	143000
Arbeitspreis der Generatoren zur Herstellung von Eis in Blöcken à kg										
Arbeitspreis der Einrichtungen zur Herstellung durchsichtigen Eises mittels Rührwerkes (D. R.-P. Nr. 26 981)										

¹⁾ Der Eisproduktion ist eine Gefrierwasser-Temperatur von 10° C. zu Grunde gelegt. Bei wärmerem Gefrierwasser reducirt sich die Leistung für jeden Grad um 1 Proc.

²⁾ Der Arbeitsverbrauch und das Kondensationswasser sind für eine Temperatur des Kondensationswassers von 10° C. angegeben. Bei wärmerem Wasser erhöht sich für 1° C. beides um 4 Proc.

³⁾ Obige Preise gelten für das Deutsche Reich und verstehen sich loco Werkstätten, verpackt.

Die Generatoren der Maschinen Nr. I, II und III sind mit einzeln von Hand aushebenden Zellen versehen, diejenigen der grösseren Maschinen mit mechanischen Einrichtungen zum reihenweisen Füllen, Verschieben und Aufthauen der Zellen.

Wasser-Destillationsapparate zur Herstellung des Gefrierwassers für Klareisfabrikation.

D. R.-P. Nr. 43426 und 60368.

Unsere Apparate dienen dazu, das für Krystalleisfabrikation nöthige stillirte, luftfreie Wasser mit möglichst geringem Aufwand an Brennstoff und Kühlwasser herzustellen.

Dies wird dadurch ermöglicht, dass die bei Kondensation des Dampfes im Destillationskessel frei werdende latente Wärme, statt durch Kühlwasser abgeführt zu werden, zur Erzeugung des Dampfes für die Betriebsdampfmaschine verwendet und ferner auch die Flüssigkeitswärme des destillirten Wassers grösstentheils zur Erhitzung des Kesselspeisewassers benutzt wird.

Der dem Hauptkessel entnommene Dampf erzeugt in einem stehenden Siederrohrkessel unter eigener Kondensation den Dampf für die Betriebsmaschine. Das Kondensat wird nach Aufkochen (behufs vollständiger Entlüftung) durch Aufhebung des Druckes, bei dem die Kondensation stattgefunden, durch das Speisewasser des Hauptkessels abgekühlt, und nachdem es noch durch das Kühlwasser der Eismaschine nahezu auf dessen Temperatur gebracht, als Gefrierwasser für Klareisfabrikation verwendet.

Zur weiteren Verminderung des Brennmaterial- und Kühlwasserverbrauchs haben wir in neuester Zeit oben beschriebene Einrichtungen dahin geändert, dass der erwähnte Siederrohrkessel nicht mehr zwischen Hauptkessel und Dampfmaschine, sondern zwischen letzterer und ihrem Kondensator eingeschaltet wird, so dass die Kondensations- und Verdampfungsvorgänge nicht mehr bei den hohen Drücken und Temperaturen, sondern im Vacuum und bei entsprechend niederen Temperaturen stattfinden. Der Abdampf der Dampfmaschine giebt bei seiner Kondensation im Vacuum Wärme ab; diese dient zur Verdampfung frischen Wassers — gleichfalls unter Vacuum —, welches nach seiner Rekondensation in einem Gegenstromkühler auf Brunnenwassertemperatur abgekühlt und als Gefrierwasser verwendet wird.

Derartige Destillirapparate sind zur Zeit bereits in nachstehenden Etablissements im Betrieb:

Frankfurter Vereinigte Kunst- und Natureiswerke, Frankfurt a. M.,
 Société anonyme des Frigorifères d'Anvers, Antwerpen,
 Van Houten Steffan & Comp., Padang,
 Linde British Refrigeration Comp. Ice factory, Brimingham,
 Fabbrica di Ghiaccio artificiale a Livorno,
 La Cruz Blanca; Matossi, Fanconi & Comp., Santander,
 Kühlhaus Hamburg in Hamburg (gleichzeitig Krystalleis-Fabrik),
 u. a. m.

Die Osenbrück'schen Ammoniak-Kompressionsmaschinen werden in etwa gleichen Dimensionen und Preisen hergestellt, während die Modelle von Lightfoot aus der Fabrik von Siebe, Gormann & Co. in London den folgenden Zahlen entsprechen, wobei Umrechnung in deutsche Maasse und Gewichte stattgefunden hat:

Modell Nummer . . .	A	B	C	D	E	F	G	H	J
Eisproduktion in 24 Stunden in kg	625	1000	2000	4000	6000	9000	12000	24000	48000
Hektoliter Wasser gekühlt in der Stunde von									
+ 24° auf 10° C.	4	6	12	25	37	56	74	148	296
+ 15½° „ 7° C.	5½	8¾	17½	35	52	78	105	210	420
+ 10° „ 1½° C.	4	6½	13	26	39	59	78	157	314
Kühlwasser pro Stunde von 13° C. in Hektoliter	3,6	5,9	11,8	23,6	35,4	53	70	140	280

Angaben über Kompressionsmaschinen von Light-foot.

Die amerikanischen De la Vergne-Maschinen haben folgende Dimensionen:

Leistung an Eisäquivalent in 24 Stunden in kg	1000	4000	9000	18000	32000	50000	75000	110000
Durchmesser der Kompressoren in mm	101	152	203	254	305	356	407	458
Kolbenhub der Kompressoren in mm	203	305	407	509	610	712	814	916
Dampfcylinder-Durchmesser in mm	127	228	305	407	458	559	660	814
Dampfcylinder-Hub in mm	203	305	407	509	610	712	814	916
Pferdekräfte	2	6	12	25	42	66	100	140

Angaben über Kompressionsmaschinen von De la Vergne.

Tourenzahl 36 in der Minute.

Die Société industrielle des procédés Raoul Pictet giebt folgende Liste über ihre Schwefligsäuremaschinen aus:

Nummer der Maschine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
chweflige Säure im Verdampfer in kg	21	24	34	76	97	129	172	210	300	600	960
ormagnesium im Eisapparat in kg	250	350	800	1200	1800	2200	2700	3700	6500	11000	14000
iserzeugung pro Stunde in kg	15	25	50	100	150	200	250	350	500	1000	1500
eistung an Wärmeinheiten bei Wasserkühlung	—	bis 3000	bis 6000	bis 12000	bis 18000	bis 25000	bis 30000	bis 42000	bis 60000	bis 100000	bis 180000
ühlwasser pro Stunde in Hektol. ¹⁾	7	7½	15	30	45	60	75	90	150	300	450
riekraft in Pferdekraften	1½	2	3¾	6	9	12	15	20	28	53	80
reis ohne Dampfmaschine in Fracs.	6000	6500	9000	12500	15500	19500	21000	28000	38000	75000	95000
										incl. Dampfmasch. mit Kondensation.	
reis des Eisapparates in Fracs.	1000	1000	2500	3500	3500	4000	4500	7000	7000	20000	35000

Angaben über Pictet's-Kompressionsmaschinen.

¹⁾ In vielen Fällen ist die Hälfte des Kühlwassers hinreichend.

folgende Angaben:

Tabelle über Leistungen und Preise unserer Kühlmaschinen.

Kälteerzeugung in Calorien pro Stunde bei Kühlung von	Süßwasser von +12° bis +1 1/2° Cels.		Salzlösung bis -5° C.		oder Eisersatz in 24 Stunden	Erforderliches Kühlwasser pro Stunde je nach der Temperatur der zu kühlenden Flüssigkeit	Kraftbedarf	Preis der Kühlmaschine bei Salzwasser kühlung	mit Dampfmaschine	mit Kondenswasser und Ventilsteuerung	mit Ventilsteuern			
	0	I	II	IIIa								IIIb	IV	IVa
1900	3600	6600	9000	13000	21000	33500	42000	67000	84000	115000	162000	205000	315000	Calorien
1600	3200	5500	7500	11000	17500	28000	35000	56000	70000	95000	135000	170000	260000	"
13	25	44	60	88	140	225	280	450	560	760	1080	1360	2100	Ctr. à 50 kg
0,32 bis 0,32	0,4 bis 0,65	0,77 bis 1,1	1 bis 1,5	1,5 bis 2,2	2,5 bis 3,5	4,5 bis 6	5 bis 7	7,5 bis 11	10 bis 14	13,5 bis 19	19 bis 27	24 bis 34	37 bis 52	ebm
1 1/4	2	2 3/4	3 1/2	4 1/2	6 1/2	9 1/2	11	17	21	28 1/2	39 1/2	49	76	Pferdestärken
1/4	1/4	1/2	3/4	3/4	1 1/4	1 3/4	2 1/4	3 1/2	4	5	6 3/4	8	11 3/4	Mark
2400	3400	4600	5200	6400	8750	11700	13600	18200	22000	27000	34000	41000	58000	Mark
3300	4850	6550	7150	8700	11550	14900	17600	23000	27000	34700	42500	51500	71800	"
								24900	28700	34700	42500	51500	71800	"

Angaben über Kohlen-säure-maschinen on A. L. Siedinger.

Tabelle über Leistung...
Eismaschinen.

Numer der Maschine	0	I	II	IIa	III	IIIa	IV	IVa	V	Va	VI	VIa	VII
Eisproduktion pro Stunde in Kilogramm ¹⁾	10	25	50	75	100	175	250	375	500	750	1000	1500	2000 kg
Eisproduktion pro Tag à 24 Stunden	4,8	12	24	36	48	84	120	180	240	360	480	720	960 Ctr. à 50 kg
Erforderliches Kühlwasser von + 10° C. pro Stunde ²⁾		0,3	0,6	0,9	1,2	2,1	3	4,5	6	9	12	18	24 cbm
Kraftbedarf ³⁾		2	3	4	5	7 1/2	10	14	18	26 1/2	35	50	65 Pferdestärken
Preis der Maschine incl. Eis-generator	3600	5800	8300	10100	12000	15700	19500	26800	33500	45000	56000	80000	104000 Mark
für Riemenbetrieb incl. Schwungrad													
mit Dampfmaschine ohne Kondensation			10300	12100	14800	19000	23500	31800					"
mit Dampfmaschine mit Kondensation									40500	54000	67000	93000	120000 "

¹⁾ Die angegebene Eisproduktion setzt eine Temperatur des Gefrierwassers von + 10° C. voraus. Höhere Gefrierwassertemperaturen bedingen eine Verminderung der Eisproduktion.

²⁾ Der Kraft- und Kühlwasserbedarf ist unter Zugrundelegung der angegebenen Eisproduktion für eine Temperatur des Kühlwassers von + 10° C. angegeben; bei höherem Wasser erhöhen sich Kraftbedarf und Kühlwasserverbrauch, welche den jeweiligen Verhältnissen entsprechend durch uns besonders angegeben werden.

³⁾ Die Zellen der Eisgeneratoren der Maschinen Nr. 0, I, II, III werden einzeln von Hand ausgehoben; die Eisgeneratoren der grösseren Maschinen sind mit mechanischer Einrichtung zum reihenweisen Füllen, Verschieben und Aufthauen der Zellen versehen. Zu den Maschinen Nr. IV, V, VI, VII liefern wir zum Ausheben der Zellen auf Wunsch Laufkräne, für Hand- oder Maschinenbetrieb eingerichtet, unter billigster Berechnung.

Eisgeneratoren zur Erzeugung gewöhnlichen Kunsteises in Blöcken beliebig andrer als der angegebenen Grösse, sowie Eisgeneratoren zur Erzeugung von Klareis und Eisgeneratoren zur Erzeugung von Krynaleis ohne jeglichen Kern (aus gewöhnlichem Brunnenwasser) liefern wir auf Grund besonderer Kostenschätzungen. Zur Eiszerzeugung aus destillirtem Wasser liefern wir Destillationsapparate eigener Konstruktion, welche den geringsten Brennmaterialaufwand erfordern.

Ueber die kleine Mosler'sche Absorptionsmaschine von der Maschinenfabrik Hohenzollern folgende Angaben gemacht

Angaben für Mosler's Absorptions- maschinen.	Nummer der Maschine	0	1
Eisproduktion pro Stunde in kg		10	25
Leistung in Eisäquivalent in 24 Stunden in kg		400	1000
Wassermenge in Litern, welche pro Stunde gekühlt werden.	Von 20° bis 10° C.	160	400
	" 20° " 5° "	100	250
	" 20° " 1½° "	70	175
	" 15° " 8° "	210	525
	" 15° " 5° "	140	350
	" 15° " 1½° "	90	225
	" 10° " 5° "	260	650
	" 19° " 2° "	150	375
	" 5° " 1½° "	300	750
Kühlwasserverbrauch pro Stunde in Hektolitern		2	5
Betriebskraft in Pferdekraften		—	—
Preis der Maschine in Mark		3000	5500
Preis des Klareis-Apparats in Mark		350	500
Grundfläche zur Aufstellung der Maschine in qm		4	6

Leistungen und Preise der Handeismaschinen von Lange

Angaben für Lange's vacuum- maschinen.	Modell Nummer	I	II ₁
Eisproduktion pro Stunde kg		5	10
Gewicht eines Eisblockes kg		10	20
Preis der kompletten Eismaschine M		1000	1700
Kühlwasser pro Stunde Liter		100	200
Kohlen pro Stunde kg		0,5	1,0
Kraftbedarf bei			
Handbetrieb Mann an der Kurbel		1	1
Riemenbetrieb ca. Pferdestärken		1/12	1/9
Gewicht der kompletten Eismaschine unverpackt . kg		650	1600
Raumbedarf, Grundfläche ca. qm		1,0	2,5
Rauminhalt der verpackten Eismaschine . ca. cbm		0,8	2,4
Füllung mit Schwefelsäure (66° Bé) Liter		30	190

Grösse des Arbeitsraumes der verschiedenen Kompressionsmaschinen.

Anwendung von Kältemaschinen aller Art.

Grösse des Arbeitsraumes der verschiedenen Kompressionsmaschinen.	Anwendung von Kältemaschinen aller Art.	Stündliche Leistung in Wärmeinheiten bei Abkühlung von — 2° bis — 5° C.	Wirksamer Kompressor-	
			Ammoniak	Schweflige Säure
		2000	1,1	2,97
		3000	1,7	4,59
		4000	2,25	6,08
		5000	2,8	7,56
		6000	3,4	9,18
		10000	5,6	15,12
		13000	7,3	19,71
		18000	10,0	27,0
		22000	12,4	33,48
		40000	22,0	59,4
		55000	31,0	83,7
		80000	45,0	121,5
		120000	67,0	180,9
		150000	85,0	229,5
		190000	107,0	288,9
		220000	124,0	334,8
		275000	164,0	442,8
		330000	185,0	500,0
				0,3
				0,46
				0,6
				0,76
				0,92
				1,51
				1,97
				2,7
				3,35
				5,94
				8,37
				12,15
				18,1
				23,0
				29,0
				33,5
				44,3
				50,0

Schröter's Versuche im Polytechnischen Verein in München.

Grösse des Arbeitsraumes des Kompressors der verschiedenen Kompressionsmaschinen, bei gewöhnlichen Verhältnissen (— 10° im Verdampfer). Tabelle XXXI.

Zur Berechnung der Grössen des Kompressors der Kompressionsmaschinen nebenstehende Angaben dienen, wona Berücksichtigung der Tourenzahl des Kompressors festgestellt werden kann.

Die Kältemaschinen haben sich in der Technik ausserordentlich stark eingefunden und finden Verwendung in den verschiedensten Zweigen der Industrie. Ausser zur Eisfabrikation werden sie vor Allem in Bierbrauereien zur Abkühlung der Würzen in Kühler und Kühlbottichen, zur Abkühlung der Kelle in Brauereien, zur Abkühlung der Malzkeller, in Schmelzhäusern und Fleischhallen zur Abkühlung des Fleisches, in Butterfabriken, Kunstbutterfabriken, in Spiritusfabriken zur Abkühlung des Kühlwassers, in Salpätrefabriken zur Abkühlung der Ersträume, in Paraffin- und Stearinfabriken zum Auskrystallisiren und Abkühlen der Ersträume, in Zuckerfabriken zur Raumkühlung für Melasseentzuckerung, Lagerung von Rüben, in Dynamitfabriken zur Abkühlung beim Nitriren, in allen Arten von Chemischen Fabriken zum Auskrystallisiren, zu Erstarrungsprozessen, auf Schiffen zum Kühlen von Vorräten und zum Transport von Lebensmitteln, in Passagierräumen, in Krankenzimmern zur Luftkühlung und Ventilation, zur Abkühlung des Bodens bei Fundamenten, was dergleichen mehr ist, ja sie haben auch Verwendung gefunden zur Herstellung von künstlichen Eisbahnen.

Eine Reihe interessanter Versuche über verschiedene Kältemaschinen-Systeme sind im Auftrage des Polytechnischen Vereins in München von Herrn Prof. Schröter durchgeführt und veröffentlicht worden.*)

*) Untersuchungen an Kältemaschinen verschiedener Systeme. Erster Bericht an den Ausschuss des Polytechnischen Vereins zu München, erstattet von Prof. Schröter etc. bei R. Oldenburg in München und

suche und die gewonnenen Resultate geben ein Bild der verschiedenen Einflüsse wechselnder Verhältnisse auf die Leistung der Kältemaschinen, so dass es kaum möglich wird, aus diesen Versuchen unumstösslich richtige Resultate bezüglich Leistung verschiedener Systeme zu extrahiren. Es werden lediglich nach wie vor Schlussfolgerungen und Betrachtungen bestätigt, wie solche auch vom Verfasser gezogen und dargestellt worden sind. Gewisse Gesichtspunkte, die sonst bekannt waren, sind indessen mit Zahlen durch die Versuche zur Darstellung gebracht worden, welche im Allgemeinen die Erörterungen über Leistung und Arbeit in diesem Buche bestätigen.

Wir bringen zuerst die Schröter'sche Uebersichtstabelle über seine Versuche zum Abdruck, in welcher wir diejenigen Zahlen durch hervortretenden Druck gekennzeichnet haben, auf welche wir besonders bei der Besprechung hinweisen wollen. Die Tabelle XXXII (s. S. 348 u. 349) wird von Herrn Prof. Schröter auch nur als eine solche bezeichnet, in welcher unmöglich die gewonnenen Zahlen eine genaue Bestimmung des Werthes der verschiedenen Maschinensysteme darstellen können, sondern welche nur dazu dienen können, ein allgemeines Bild über den relativen Werth derselben sich zu konstruiren.

Die letzte Vertikalspalte enthält Zahlen, welche von uns selbst angefügt sind, um Vergleichszahlen zu gewinnen. Herr Prof. Schröter berechnet in seiner letzten Spalte die Leistung der verschiedenen Maschinen in Wärmeeinheiten, reducirt auf 1 kg Speisewasser pro Stunde. Dabei macht er keinen Unterschied zwischen denjenigen Maschinen, welche Eis in Wirklichkeit erzeugen, und denen, die nur Salzwasser behufs Abkühlung von Räumen oder Süsswasser in niedere Temperatur bringen. Es kommen aber dadurch beim Vergleich der Systeme unter einander diejenigen zu kurz, welche Eis erzeugen, weil die in der Maschine producirte und in das Salzwasser übergegangene Kälte erfahrungsgemäss nur zu etwa $\frac{3}{4}$ bei der Eisbildung nutzbar wird. Um also einigermaassen annehmbare Vergleichszahlen zu erhalten, werden wir die aus wirklich erzeugtem Eis in der Tabelle berechneten und angegebenen Calorien um ein Drittel vergrössern müssen. Das ist in der letzten Vertikalreihe von uns geschehen. Dabei kommen dann immer noch die beiden Maschinen, welche kaltes Süsswasser (Nr. 6) und direkt kalte Luft (Nr. 10) erzeugen, in den Vergleichszahlen zu gut fort. Es ist nämlich wie folgt zu rechnen: Das Wasser hat $12^{\circ}\text{C.} = 12 \text{ W. E.}$; die latente Wärme = 79 W. E. ; Eis von -8°C. bei $0,5 \text{ spec. Wärme} = 4 \text{ W. E.}$; Schmelzverlust $10 \text{ Proc.} = 9,5 \text{ W. E.}$; Abkühlung der erwärmten Eiszellen ca. $0,83 \text{ W. E.}$. Im Ganzen also $105,33 \text{ W. E.} = 79 (1 + \frac{1}{8})$.

Gehen wir zu speciellerer Besprechung der Versuche über.

Tabelle XXXII. Uebersichts-Tabelle

Nr.	Datum des Versuchs	Bezeichnung der untersuchten Maschine	Verwendung der producirten Kälte während des Versuchs	Maassgebende Versuchsbedingungen				
				Menge des Kühlwassers Liter pr. Stunde	Temperatur			
					des Kühlwassers		der Salzlösung	
		Eintritt	Austritt					
		Grad Cels.	Grad Cels.	Grad Cels.	Grad Cels.			
1	1885 16. April	Eismaschine von O. Kropff in Nordhausen, aufgestellt im Eiswerk Karlsruhe.	Eisfabrikation	16 951	+ 11,1	Absorption +24,8 im Kondensat., +50,5 im Temp.-Austr.		- 10,6
2	1885 9. Juni	Eis- und Kühlmaschine von Vaass & Lüttmann in Halle a. S., Printz'sche Brauerei in Karlsruhe.	do.	11 820	+ 13,3	40,6		- 11,1
3	1886 20. April	Eismaschine von Vaass & Lüttmann in Halle a. S., Brauerei Küpper, Elberfeld.	do.	9 111	+ 9,3	+ 34,2		- 11,0
4	1885 11. u. 12. Juni	Vacuum-Kühlmaschine von L. A. Riedinger, Augsburg. St. Anna-Brauerei in München.	Abkühlung einer Salzlösung	4 963	+ 12,3	19,4		im Mittel Eintr. — Austr. —
5	1884 31. März u. 1. April	Eismaschine von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen, Lindesches Eiswerk, München.	Eisfabrikation	nicht gemessen	+ 8,4	Kompression — — 4,4		
6	1884 5. und 6. Juni	Kühlmaschine von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen, Butterfabrik A. Jürgens in Osch in Holland.	Süßwasserkühlung	9 179	+ 11,2	+ 23,6		Süßwasser gekühlt von + 11,2 + 2,4
7	1884 22. April	Kühlmaschine von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen, Spatenbrauerei in München.	Abkühlung einer Salzlösung	18 296	+ 8,8	+ 12,5		Eintr. — Austr. —
			do.	6 958	+ 8,8	+ 20,0		Eintr. — Austr. —
8	1886 26. u. 29. Oktober	Eismaschine, System R. Pictet, neu, von Rudloff, Gröbs & Co. in Berlin, Krystalleisfabrik Berlin	Eisfabrikation	30 700	+ 10,1	+ 14,0		- 18,2
	do.	do.	do.	30 700	+ 10,1	+ 15,95		- 10,0
	do.	do.	do.	8 360	+ 10,3	+ 31,1		- 9,7
	do.	do.	do.	30 700	+ 10,1	+ 17,2		- 6,0
9	1887 28. u. 29. März	Eismaschine von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen, Lindesches Eiswerk, München.	do.	nicht gemessen	+ 4,2	+ 17,4		- 5,9
10	1887 13. u. 14. April	Kaltluftmaschine von Bell-Coleman, Exportschlachtereier von Koopmann, Hamburg.	Luftkühlung	nicht gemessen	—	—		—

Versuche des Prof. Schröter in München.

Versuchsergebnisse										Bemerkungen	Vom Verfasser geschätzte Vergleichszahlen	
absolute		relative, effektive										
Produktion		Konsumention					Produktion pro Stunde und 1 kg Speisewasser					
kg Eis	Eis-ersatz kg	Arbeit in PS indicirt		Speisewasser			kg Eis productirt	kg Eis ersetzt	Calorien Kälte			
		Dampfmaschine	Kompressor	im Ganzen kg	für die Dampfmaschine	im Ammoniak-kessel						
hinen.												
386,1	—	—	—	790	—	402	0,49	—	45,7	Die in der Tabelle enthaltenen Zahlen sind nicht ohne weiteres zum Vergleich der einzelnen Maschinen zu brauchen; s. die bez. Bemerkungen im Text. In Bezug darauf, welche Zahlen durch Beobachtung und welche durch Rechnung gewonnen sind, muss gleichfalls der Text zu Rathe gezogen werden.	60,93	
701,6	—	5,74	—	693,4	153,9	539,5	1,01	—	93,5		124,66	
490,5	—	—	—	536,2	154,2	382	0,915	—	85,8		114,4	
—	255	10,0	—	408,5	234,9	83,6 im Konzentrator	—	0,62	61,9		61,9	
hinen.												
1663	—	53,6	36,6	491,4	—	—	3,38	—	305,2		406,93	
—	—	40,0	27,3	380	—	—	—	—	241		(241,0)	
—	512	26,1	18,1	245	—	—	—	2,09	215	Die nämliche Maschine unter geänderten maassgebenden Versuchsbedingungen.	215,0	
—	618	34,5	25,8	328	—	—	—	1,89	188		188,0	
789	—	74,6	52,01	992 714	—	—	0,79 1,10	—	79,0 109,8	Die kleingedruckten Zahlen sind die in Wirklichkeit beobachteten; die anderen durch Umrechnung auf den im Linde'schen Eiswerk beobachteten Speisewasserverbrauch erhalten.	105,33	
1396	—	87,6	61,7	1184 857	—	—	1,18 1,63	—	123,7 155,2		164,93	
1391	—	104,5	75,0	1402 1068	—	—	0,99 1,30	—	94,3 123,9		125,73	
1722	—	93,0	66,4	1265 918	—	—	1,36 1,87	—	127,0 175,0		169,33	
1456	—	66,1	45,9	606	—	—	2,40	—	216,9	Die nämliche Maschine, welche schon 1884 untersucht wurde.	289,2	
—	—	Mittel 85,4	127,4	783	—	—	—	—	40,0	Hier ist nicht die effektive, sondern die gesamte Produktion eingesetzt.	(40,0)	

Die Maschine Nr. 1, Absorptionsmaschine mit Ammoniak von O. Kropff, erzeugt Krystalleis von destillirtem Wasser. Es stellt sich daher der Kühlwassergebrauch ganz aussergewöhnlich hoch. Die Maschine kann deshalb schwerlich zum Vergleiche herangezogen werden. Für 1000 erzeugte Calorien wird rund gebraucht 469 Liter Kühlwasser von 11,1° C. und 21,8 kg Speisewasser oder 2,1 W.E. pro Liter Kühlwasser.

Die Ammoniak-Absorptionsmaschine Nr. 2 von Vaass & Littmann erzeugt gewöhnliches Eis; sie kann daher zum Vergleiche dienen. Jedes 1000 erzeugte Calorien Kälte gebrauchen rund 182 Liter Kühlwasser von 13,3° C. und 10,7 kg Speisewasser oder 5,5 W.E. pro Liter Kühlwasser.

Aehnlich stellen sich die Verhältnisse an Absorptionsmaschine Nr. 3, ebenfalls von Vaass & Littmann, welche pro 1000 W.E. Kälte etwa 198 Liter Kühlwasser von 9,3° C. gebraucht und 11,6 kg Speisewasser oder 5,05 W.E. pro Liter Kühlwasser.

Die Vacuummaschine Nr. 4 von Riedinger nach Windhausen's System gebraucht pro 1000 W.E. erzeugter Kälte 196 Liter Kühlwasser von 12,3° C. und 16,1 kg Speisewasser oder 5,1 W.E. pro Liter Kühlwasser.

Bei weitem günstiger stellen sich im Allgemeinen die Kompressionsmaschinen, obwohl bei Beurtheilung der Vergleichszahlen bezüglich der Leistungsverhältnisse unter einander sehr vorsichtig wird verfahren werden müssen.

Nr. 5 ist eine Eismaschine von Linde, die unter so ausserordentlich günstigen Umständen arbeitet, dass sich an derselben wohl erkennen lässt, bis zu welchem Grade die Leistung von Ammoniak-Kompressionsmaschinen getrieben werden kann, zum Vergleiche wird man sie indessen nicht heranziehen können. Der Kondensator dieser Maschine ist in fließendes Wasser vollständig hineingestellt, dessen Temperatur + 8,4° C. beträgt. Die Kühlwassermenge ist daher fast unbegrenzt. Die verbrauchte Speisewassermenge pro 1000 Calorien producirt Kälte beträgt nur 3,27 kg.

Die Beziehungen zwischen Kühlwassermenge, dessen Ein- und Austrittstemperatur, sowie zwischen dem Kraftgebrauch, und daher auch der Speisewassermenge, sind äusserst beachtenswerth an Kompressionsmaschinen und haben auf die Leistung der Maschinen hervorragenden Einfluss.

Es ist in diesem Buche wiederholt darauf aufmerksam gemacht worden, und mögen die Schröter'schen Versuche dazu dienen, den Einfluss solcher Aenderungen noch deutlicher zu machen.

Bei Maschine Nr. 5 ist der Kraftverbrauch des Kompressors 36,6 indicirte Pferdekräfte; es erzeugt daher 1 indicirte Pferdekraft rund 4098 Calorien an Kälte.

Auch die Linde'sche Maschine Nr. 6 ist zum Vergleiche um deswillen kaum heranzuziehen, weil sie nicht Salzwasser auf niedere Temperaturen kühlt, sondern direkt Süßwasser auf nur +2 bis 3° C. Unter solchen Umständen leisten die Kompressionsmaschinen mehr, weil die Verdampfung im Refrigerator unter höherer Temperatur und grösserer Spannung vor sich geht, wobei die Dämpfe dichter sind, und daher grössere Mengen vom Kompressor angesaugt werden. Die Zahlen 102 Liter Kühlwasser von +11,2° C., und 4,15 kg Speisewasser pro 1000 Calorien sind daher ausserordentlich günstig; ebenso ist die Leistung von 3356 Calorien pro indicirte Pferdekraft als über die Maassen günstig anzusehen, oder 9,8 W. E. pro Liter Kühlwasser.

Interessanter und für den Vergleich brauchbarer erscheinen die mit Maschine Nr. 7 von Linde gewonnenen Resultate. Diese Maschine hat unter Verhältnissen gearbeitet, die man als normale, d. h. unter gewöhnlichen Umständen vorhandene, bezeichnen kann. Sie verbrauchte 18296 Liter Kühlwasser von + 8,8° C. beim Versuch a, d. h. pro 1000 Calorien erzeugter Kälte 347 Liter Kühlwasser und 4,64 kg Speisewasser; pro indicirte Pferdekraft erzeugte sie 2915 Calorien Kälte oder 2,88 W. E. pro Liter Kühlwasser.

Den Angaben der Linde'schen Prospekte entspricht mehr der Versuch 7b, indem der Kühlwasserverbrauch ungefähr auf das dort angegebene Quantum reducirt wurde. Dadurch sank der Kühlwasserverbrauch auf 112 Liter pro 1000 W. E. erzeugter Kälte, und der Speisewasserverbrauch stieg auf 5,31 kg pro 1000 Calorien; die Leistung pro indicirte Pferdekraft im Kompressor sank auf 2392 Calorien erzeugter Kälte oder 8,93 W. E. pro Liter Kühlwasser.

Letztere Zahlen sind als die normalen bei Linde'schen Ammoniak-Kompressionsmaschinen anzusehen, und man erkennt aus dem Vergleich der Resultate beider Versuche sofort den günstigen Einfluss von vermehrtem Kühlwassergebrauch. Die Gründe brauchen hier nicht von neuem erörtert zu werden.

Wir wollen deshalb auch hier die Diagramme dieses zweiten Versuchs mittheilen, von welchen Fig. 293 das Indikator-Diagramm der Vorderseite und Fig. 294 das der Hinterseite des Kompressors darstellt. Die mittlere indicirte Spannung beträgt vorn 4,24 kg, hinten 4,28 kg pro Quadratcentimeter Kolbenfläche, die indicirte Arbeit bei 65,8 Touren pro Minute 25,8 indicirte Pferdestärken.

Die absoluten Spannungen und Temperaturen betragen:

im Kondensator	10,41 Atmosphären	+ 25,3° C.	Temperatur.
im Verdampfer	3,24	"	- 7,6° C.
in der Salzlösung bei zwei Rückleitungen: beim Austritt .			- 4,11° C.
" "			beim Eintritt . {
			- 3,38° C.

Die Druckdifferenz zwischen Kompressor und Kondensator resp. Verdampfer war folgende:

im Kompressor Druckseite	10,68	absolute Atmosphären.
" Kondensator "	10,41	" "
" Kompressor Saugseite	2,97	" "
" Verdampfer "	3,24	" "

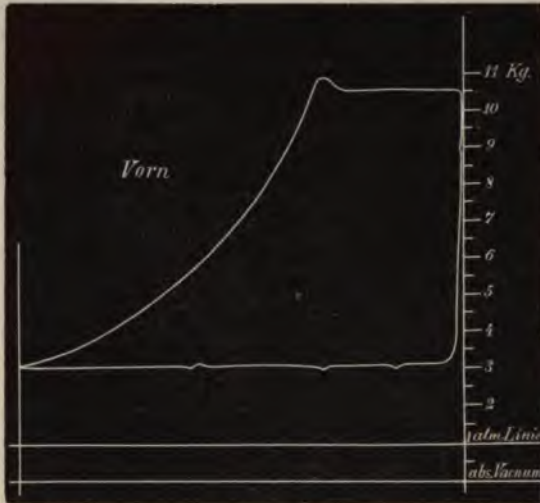


Fig. 293.

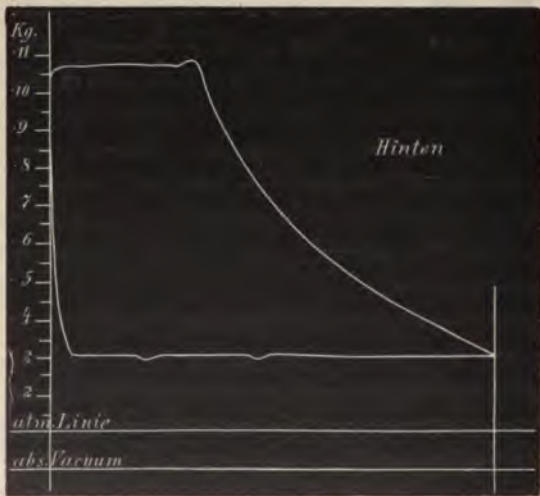


Fig. 294.

Es wurde schliesslich von Herrn Professor Schröter versucht, die Lindsche Maschine Nr. 5 mit einer Maschine von Pictet, welche mit der neuen Flüssigkeit arbeitet, in ihren Arbeitsbedingungen soweit in Uebereinstimmung zu bringen, dass ein Vergleich beider Systeme zu ermöglichen wäre. Dieser Versuch ist indessen als misslungen zu betrachten, weil es nicht möglich war, solche Uebereinstimmung herbeizuführen, schon allein um deswillen, weil sich bei dem Versuch Nr. 9 an der Linde'schen Maschine der Kühlwasserverbrauch nicht hat feststellen lassen. Ausserdem trat das Kühlwasser mit $+4,2^{\circ}\text{C}$. in den Kondensator ein, während das Kühlwasser der Pictet-Maschine $+10,1^{\circ}\text{C}$. hatte, wodurch eine ausserordentlich niedere Spannung im Kondensator ($+9,31^{\circ}$ absolute Atmosphären) erzeugt wurde, welche natürlich auch geringeren Kraft-

aufwand im Gefolge hatte, als bei gleichen Verhältnissen mit der Pictet-Maschine hätte der Fall sein dürfen. Das Resultat 4,6 kg Speisewasser pro 1000 Calorien erzeugter Kälte, und namentlich 2864 Calorien

pro indicirte Pferdekraft dürfte kaum als maassgebend für den Vergleich dienen können. Uebrigens scheint aus dem Vergleich mit Versuch 7b hervorzugehen, dass ungenügende Kühlwassermengen, und zwar weniger als in den Linde'schen Prospekten angegeben, verwendet worden sein mögen.

Für die Leistung der Linde-Maschine scheint immer der Versuch 7b maassgebend zu bleiben.

Bezüglich der Einzelheiten der Versuche 8a—d mit der neuen Pictet-Maschine muss ich ebenso auf den Schröter'schen Bericht verweisen, wie bezüglich der Einzelheiten an den anderen Maschinen.

Die Bemühungen Schröter's aber, die Pictet-Maschine in dieselben Umstände zu versetzen wie die Linde-Maschine Nr. 5, können wegen Missglückens derselben keinen Werth für uns haben. Es fallen deshalb auch die grossgedruckten Zahlen für unsere Betrachtung fort.

Wir wollen die wirklich gewonnenen Resultate hier nebeneinander stellen:

pro 1000 Calorien erzeugter Kälte	Versuch 8a	8b	8c	8d
Kühlwasserverbrauch Liter. . .	391	231	63	191
Eintrittstemperatur °C. . . .	+ 10,1	+ 10,1	+ 10,3	+ 10,1
Austrittstemperatur °C. . . .	+ 14,6	+ 15,95	+ 31,1	+ 17,2
Speisewasserverbrauch kg. . .	12,6	8,9	10,6	7,9
pro indicirte Pferdestärke im Kompressor	1508 Cal.	2156 Cal.	1764 Cal.	2419 Cal.
oder pro Liter Kühlwasserverbrauch .	2,56 „	4,33 „	15,87 „	5,26 „

Dass die Resultate nicht günstiger sind, als bei reinen Kompressionsmaschinen, scheint aus diesen Versuchen hervorzugehen. Der Kühlwasserverbrauch ist unter allen Umständen grösser, und das scheint auf die Richtigkeit der Anschauung hinzudeuten, dass in der That Absorption der Kohlensäure durch die flüssig gewordene schweflige Säure stattfindet. Die besseren Erfolge in Bezug auf Ausnutzung des Speisewassers resp. der Kraft, die sich in Versuch 8d zeigen, stehen in Zusammenhang mit dem höheren Kompressionsdruck (5,81 absolute Atmosphären gegenüber 3,77 bis 4,23 Atmosphären der übrigen Versuche).

Die Figuren 295 und 296 zeigen die Kompressordiagramme vorn und hinten von Versuch 8b.

Es sind an und für sich Unterschiede in der Spannung bei Kompressionsmaschinen zu finden, je nachdem man im Kompressor selbst an der Druckseite oder an verschiedenen Stellen des Kondensators misst. Wenn man die Richtigkeit meiner Voraussetzung, dass Absorption von Kohlensäure stattfindet, annehmen will, so würden diese Spannungsdifferenzen sich wohl noch vergrössern. Der Druck, welcher in Pictet-Maschinen mit der neuen Flüssigkeit vorkommt, schwankt auf Saugseite und Druckseite zwischen 1,0 und 4,5 absoluten Atmosphären. Die Ab-

weichung der Spannung von Pictet's Flüssigkeitsmischung gegen die Spannung reiner schwefliger Säure ist nach seiner Tabelle dann $+0,34$ bis $-0,15$ Atmosphären, Differenzen, welche sich an den Maschinen selbst auch unter Annahme der Richtigkeit meiner Voraussetzung vorfinden dürften. Um dies zu entscheiden, würde allerdings ein Versuch mit sehr hohen Kompressionsspannungen nöthig sein.

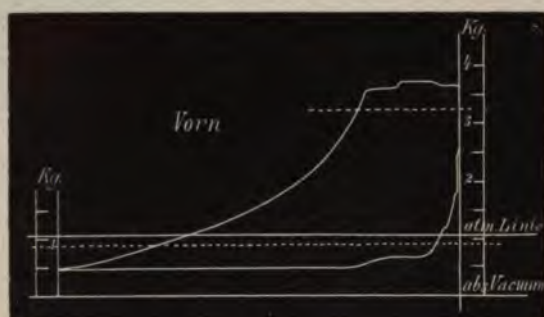


Fig. 295.

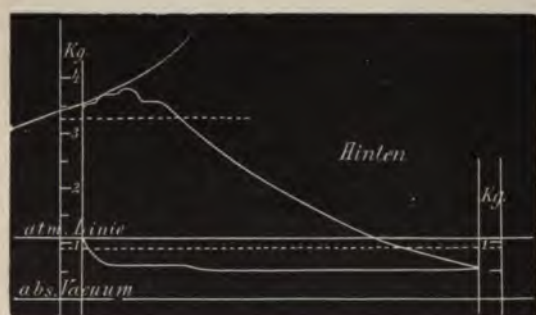


Fig. 296.

Es ist hier nicht meine Aufgabe, eine Frage, ob nämlich wirklich innere chemische Vorgänge, wie von Pictet behauptet (s. S. 236 fgd.), derart stattfinden, dass bei 20° C. und 3 bis 4 Atmosphären Druck eine chemische Verbindung zwischen Kohlensäure und schwefliger Säure eintritt, die sich bei jedem Kolbenhub, also in der Minute 130mal, wieder unter 1 Atmosphäre Druck und -10 bis -15° C. Temperatur von einander trennen, zu erörtern, weil sie bis jetzt seitens der kompetentesten Physiker noch kaum gründlich geprüft worden ist, wohl aber will ich hier Versuche be-

sprechen, welche im Gegensatz zu den Schröter'schen Versuchen durch Dr. Max Corsepius im Auftrage der Lieferanten der neuen Pictet-Maschinen angestellt wurden.

Wenn wir hier als Leistung diejenige Wärmemenge ansehen wollen, welche im Verdampfer an das Salzwasser abgegeben worden ist, so rechnen wir sicherlich zu Gunsten der Pictet-Maschine. Nach den Angaben von Corsepius berechnen sich dann die Resultate wie folgt:

Leistung
einer Pictet-
Maschine.

	Versuch vom 18. Mai	vom 19. Mai	vom 21. Mai 1887
Kühlwasserverbrauch Liter	41 383,6	42 691,3	11 258,1
pro 1000 Calorien erzeugter Kälte Liter	260	543	95
Eintrittstemperatur $^{\circ}$ C.	+ 10,44	+ 10,44	+ 10,44
Austrittstemperatur $^{\circ}$ C.	+ 17,03	+ 14,68	+ 30,92
Gewonnene Calorien	159 451	78 553	118 384
Salzwassertemperatur $^{\circ}$ C.	- 5,84	- 16,55	- 8,35

	Versuch vom 18. Mai	vom 19. Mai	vom 21. Mai 1887
Pferdestärken des Kompressors . . .	46,655	36,737	49,935
pro indicirte Pferdestärken Calorien .	3417	2142	2419
pro Liter Kühlwasserverbrauch Cal. .	3,85	1,84	10,53

Das Resultat wird beim ersten Versuch durch die ausserordentlich grosse Kühlwassermenge (mehr als doppelt die normale) und die hohe Salzwassertemperatur so weit beeinflusst, dass die erhebliche Leistung an Calorien ebenso selbstverständlich ist, wie bei dem Schröter'schen Versuch Nr. 5.

Auch bei dem Versuch vom 19. Mai des Dr. Corsepilus ist der Kühlwasserverbrauch ganz enorm (fast das Fünffache des Normalen); dagegen ist die Salzwassertemperatur sehr niedrig, so dass auch nur ein mässiger Effekt an Calorien mit einer Pferdekraft erreicht wird.

Der letzte Versuch vom 21. Mai arbeitet mit etwas weniger Kühlwasser, als bei reinen Kompressionsmaschinen normal ist, die Salzwassertemperatur ist mässig, und daher der Effekt pro Pferdekraft etwa gleich der normalen Leistung der reinen Ammoniak-Kompressionsmaschinen.

Sei dem wie ihm wolle, so zeigen auch diese Versuche nicht das von Pictet behauptete Uebergewicht über die Ammoniak-Kompressionsmaschinen.

Die Diagramme der Linde'schen wie der Pictet'schen Maschine sind von recht guter Gestalt; bei beiden entsteht beim Kolbenwechsel ein kleiner Verlust, der allerdings bei den De la Vergne-Maschinen (Seite 165) vermieden ist. Angenehm ist bei Pictet die grosse Einfachheit, entstehend aus der Einschaltung der Flüssigkeit in Ballons während der Füllung der Maschine und der Einfachheit der Stopfbüchsen, sowie des Mangels von Schmiermaterial.

Es bleibt nun schliesslich noch der letzte Schröter'sche Versuch Nr. 10 einer Bell-Coleman'schen Luftmaschine zur Besprechung übrig, dessen Resultat ebenfalls unseren eigenen Erörterungen entsprechend sich stellt:

Pro 1000 Calorien Kälteeffekt wird der hohe Betrag von 25 kg Speisewasser gebraucht, und eine indicirte Pferdekraft Kraftaufwand leistet nur 367 Calorien an erzeugter Kälte.

Am Schlusse dieser Betrachtungen, und bevor zu den ausgeführten Anlagen übergegangen wird, soll ein von Prof. Linde in der Internationalen Ausstellung in Chicago 1892 in englischer Sprache gehaltenen Vortrag hier in Uebersetzung folgen. Er bietet soviel des Interessanten zuerst über die Leistungen der verschiedenen Kühlmaschinen-Systeme, und dann Vorschläge über die Art, wie man in der Folge Leistungsversuche machen soll, die so eingerichtet sind, dass sie allgemeine Anerkennung finden, dass ich es für richtig gehalten habe, ihn zu übersetzen und unverkürzt aufzunehmen, auch mit den Fussnoten. Die Zahlen,

die in dem Originalvortrage in englischen Maassen und Grössen angegeben sind, habe ich auf Metermaasse und Kilogramme umgerechnet.

Uebrigens findet sich über die Leistung von Kohlensäuremaschinen auch ganz neuerdings ein Aufsatz von Linde in Nr. 6 Seite 161 der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1894, der sich auch über die Grösse und Verhältnisse des Speiseeylinders verbreitet, und auf den deshalb noch ausdrücklich hier zu verweisen ist. Für unseren Zweck würden diese theoretischen Entwicklungen zu weit führen. Die Verhältnisse stellen sich nach den stattgefundenen Versuchen in der Versuchsanstalt des Polytechnischen Vereins in München allerdings etwas günstiger. Ich komme darauf noch zurück.

„Wenn man auf die Entwicklung der Kältemaschine in den letzten 10 Jahren zurückschaut, so sieht man zuerst das Wachsen ihrer Anzahl. Die Zahl der im Jahre 1883 in Thätigkeit befindlichen Kühlmaschinen ist nur bescheiden im Vergleich zu den in der letzten Dekade in Gebrauch genommenen. Ganze Industriezweige sind der Anwendung der Kühlmaschinen geöffnet worden, und, abgesehen von der technischen Elektrizität, zeigt kein anderer Zweig der modernen Industrie solche lebhaft entwickelte Entwicklung. Es kann kein Zweifel sein, dass während dieser Zeit namhafte Verbesserungen in der Konstruktion der Gefriermaschinen und wichtige Neuerungen in der Art der Anwendung der Kälte für die verschiedensten Zwecke gemacht worden sind. Aber es sind keine neuen Principien und auch keine hervorragenden Erfindungen und Entdeckungen, welche neue Wege der Kälteerzeugung zeigen, aufgetaucht. Wir standen in einer Zeit der Ausbeutung von in früheren Jahrzehnten gelegten Grundlagen. Die Kaltluft- und Absorptionsmaschinen existiren mehr als drei Jahrzehnte, die Ammoniak-Kompressionsmaschine mehr als zwei, und die jüngste der industriell wichtigen Maschinen, die Kohlensäuremaschine, befindet sich noch in dem ersten Jahrzehnt seit ihrer Einführung (die Kohlensäuremaschine für F. Krupp in Essen wurde nach Plänen des Vortragenden von der Maschinenfabrik Augsburg im Jahre 1882 geliefert und ist als die erste dieser Art zu betrachten), doch ist es keine Frage, dass die anfängliche Entwicklung lange vorher begonnen hat, dass sie zum Theil in Tausenden, oder wenigstens in Hunderten von Versuchen ausgeführt wurden und sich als ausführbar erwiesen. An Gelegenheit hat es nie gefehlt, sich eine Meinung über die Vortheile und Nachteile dieser verschiedenen Systeme von Maschinen zu bilden. Aber allein der Umstand, dass sie noch alle an dem heutigen Markt eine Rolle spielen, beweist die Verschiedenheit der Ansichten über die Vortheile und Nachteile, und dass den Nachtheilen in einer Richtung auch Vortheile in anderer Richtung gegenüberstehen. Ein Versuch, eine endgültige Entscheidung zu fällen, ist fast unmöglich.

Vortrag von
Linde über
Leistung
der ver-
schiedenon
Kom-
pressions-
maschinen.

Wirkungsgrad. Produktion und Konsumtion.

Günstigere Aussichten für die Lösung des Problems können erwartet werden, wenn man sich auf gewisse Fragen beschränkt, indem dann ein präciser und analytisch bestimmter Ausdruck gefunden werden kann; z. B. ist die Frage des Wirkungsgrades eine solche, d. h. das Verhältniss zwischen der erzeugten Kältemenge und der verbrauchten Arbeit — oder Wärme — und Kühlwasser. Keine der Arten der erwähnten Kühlmaschinen sind heute individuelles Eigenthum. Es steht jedem Fabrikanten frei, Absorptionsmaschinen zu bauen oder Schwefligsäure, Ammoniak oder Kohlensäure in einer Kompressionsmaschine anzuwenden. Eine bestimmte Antwort auf die Frage über den Einfluss, welchen verschiedene Arbeitsmethoden und die Auswahl der arbeitenden Stoffe auf den Wirkungsgrad ausüben, wird daher von allgemeinem Interesse sein. Wenn es im Folgenden versucht werden wird, eine Auseinandersetzung über diesen Gegenstand zu machen, so wird der Versuch in der Erkenntniss gemacht, dass auch diese Frage nicht eine endgültige Antwort in ihrer ganzen Ausdehnung finden wird, sondern nur in gewissen Grenzen. Es mag als allgemein anerkannt angenommen werden, dass die Kaltluftmaschine im Wirkungsgrade erheblich von andern Gruppen übertroffen ist.*) Die beiden folgenden Fragen werden indessen verschiedenartig beantwortet werden:

Wie ist das Verhältniss zwischen dem Absorptions- und Kompressionskreislauf, und welcher Einfluss auf eine Kompressionsmaschine wird ausgeübt durch die Verwendung von schwefliger Säure, von Ammoniak oder von Kohlensäure?

Absorption und Kompression.

Zwei Methoden können zur Beantwortung dieser Frage angewendet werden; die eine besteht in theoretischer, auf der Thermodynamik beruhender Kalkulation, die andere in experimentellen Versuchen an wirklich ausgeführten Maschinen. Die Thermodynamik befähigt uns, an den verschiedenen Systemen von Maschinen mit voller Sicherheit den höchsten Wirkungsgrad zu berechnen, der bei einem bestimmten Arbeitsprozess erreicht werden kann. Experimentelle Versuche andererseits geben den einzig zuverlässigen Beweis, in wie weit die wirkliche Leistung diesem Maximum für jedes einzelne Maschinensystem nahe kommt. Für die Kompressionsmaschine ist es besonders möglich, dieses theoretische Maximum auszudrücken durch die allgemeine**) Formel

*) Zum Beweise der Richtigkeit dieser Bemerkung sind die von verschiedenen Kaltluftmaschinen erhaltenen Versuchsergebnisse angehängt, welche verglichen werden können mit den in der folgenden Tabelle I angegebenen korrespondirenden Spalten.

**) Es soll konstatiert werden, dass auch in diesem letzten Jahrzehnt individuelle Versuche nicht fehlen, welche dem allgemeinen Werth des zweiten Hauptsatzes der

$$\frac{Q}{AL} = \frac{T}{T_c - T} \dots \dots \dots (1)^*)$$

Für den Vergleich des Wirkungsgrades zwischen einer Kompressions- und Absorptionsmaschine — welche letztere nicht durch äussere mechanische Arbeit, sondern durch Wärme in Betrieb gesetzt wird — ist es nöthig, die Absorptionsmaschine mit einer Kombination einer Kom-

System	Bell-Coleman	Lightfoot	Haslam
Versuch Nummer	1	2	3
Durchmesser des Kompressionscyllinders . .	28 Zoll	{ 27 Zoll einfach wirkend	{ 25 1/4 Zoll 2 Cylinder
Durchmesser des Expansionscyllinders . .	21 Zoll	22 Zoll	{ 19 1/2 Zoll 2 Cylinder
Durchmesser des Dampfcyllinders	21 Zoll	—	{ 20 Zoll H.P. 31 1/4 L. P.
Hub aller Cylinder	24 Zoll	18 Zoll	36 Zoll
Umdrehungen pro Minute	63,2	62	72
Luftdruck im Receiver in lbs (absolut) . .	61	65	64
Temperatur der in den Kompressionscyllinder eintretenden Luft	65 1/2° F.	52° F.	—
Temperatur der Luft nach der Expansion . .	—52,6° F.	—82° F.	—85° F.
I. H. P. im Kompressionscyllinder	124,5	43,1	346,4
I. H. P. im Expansionscyllinder	58,5	28,0	176,2
I. H. P. im Dampfcyllinder	84,4	24,6	332,7
B. T. U. pro Stunde und I. H. P. des Dampfcyllinders bei 20° F.	668 (168,2) metr. W. E.	1554 (391,4) metr. W. E.	954 (240,3) metr. W. E.

Die Zahlen von Versuch 1 sind beobachtet und veröffentlicht von Prof. Schröter — Untersuchungen an Kältemaschinen verschiedener Systeme. München 1887. — Die von Nr. 2 sind veröffentlicht in den „Minutes of Proceedings“ der Institution of Mechanical Engineers. London 1881. — Die Data von Nr. 3 sind einem Vortrag entnommen, der im Jahre 1891 vor der Manchester Society of Engineers gehalten wurde.

pressionsmaschine und einer Wärmemaschine, z. B. einer Dampfmaschine, zu vergleichen. Wenn *u* das Verhältniss zwischen dem mechanischen Arbeitsäquivalent *AL* und der Wärmemenge *Q'* ist, welche dem Motor

Thermodynamik, auf welchen diese Gleichung begründet ist, widersprechen, oder welche versuchen, dies Gesetz in unrichtiger Art zu interpretiren. Der zweite Hauptsatz wird indessen in seiner Richtigkeit durch alle Sachverständigen so fest aufrecht erhalten, dass den durch Experimente wirklich versuchten Widerlegungen kaum nöthig war zu widersprechen.

*) Die Formel drückt aus: Das theoretische Maximum von Wärme — producirter Kälte — steht zu dem Wärmeäquivalent der mechanischen Arbeit, welches verwendet wird, in demselben Verhältniss, wie die absolute Temperatur der verwendeten Wärme zu der Differenz zwischen dieser Temperatur und der Temperatur der abgegebenen Wärme.

geführt werden muss, um die Arbeit L zu verrichten, so schreiben wir $\frac{L}{Q'} = u$, und erhalten:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{T_c - T}{uT} \dots \dots \dots (2)$$

Es folgt daraus, dass die für die Erzeugung der Kältemenge Q in einer Kompressionsmaschine W nöthige Wärmemenge Q' desto kleiner ist, je kleiner die Temperaturdifferenz $T_c - T$ ist, und dass beide Werthe den Grenzwert 0 haben.

Wie weit lässt sich dies bei der Absorptionsmaschine anwenden? Lässt man den Arbeitsprozess verlaufen, angenommen ohne Verluste, und betrachtet man den Kreislauf von 1 kg Ammoniak, so wird in dem Refrigerator eine Kältemenge Q erzeugt, gleich der latenten Wärme r weniger der Flüssigkeitswärme $(q_c - q)$, welche durch das Ammoniak vom Kondensator in den Refrigerator*) übergeführt wird. Die Wärme Q' , welche an Ammoniakheizkessel zugeführt werden muss, ist zusammengesetzt aus der Absorptionswärme $s_c = r_c + a_c$ und der spezifischen Wärme des Ammoniaks, welches von der Absorbirtemperatur t_a erwärmt worden ist auf die Temperatur des Heizkessels t' .

Wir finden daher, die Arbeit der Flüssigkeitspumpe und das Wasser, welches an dem Kreislauf Antheil nimmt, vernachlässigend:**)

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{r_c + a_c + c(t' - t_a)}{r - (q_c - q)} \dots \dots \dots (3)$$

Wenn wir die Temperaturdifferenzen unendlich klein werden lassen, so ist Q' so klein als möglich zu erhalten im Vergleich zu Q , so finden wir als Endwerth

$$\left(\frac{Q'}{Q}\right)_0 = \frac{r + a}{r} > 1.$$

Im Gegensatz zu dem Grenzwert 0 bei Kompressionsmaschinen finden wir hier einen Werth > 1 , woraus folgt, dass, in jedem Falle zwischen gewissen Temperaturgrenzen, das Kompressionsprincip einen höheren Wirkungsgrad haben wird, als das Absorptionsprincip.

In wie weit dies wirklich in der thatsächlichen Leistung zutrifft, kann nur durch Resultate an ganz zuverlässigen Versuchen und durch Messungen festgestellt werden. Es wird besonders eine Frage sein, ob die hierbei wirklich erhaltene Leistung von Kompressionsmaschinen nicht bereits in gewissen Grenzen das theoretische Maximum der Leistung der Absorptionsmaschinen überschreitet. Es wird jetzt beabsichtigt nachzuweisen, dass dies der Fall ist. Die günstigsten Resultate, die dem Autor

*) Nur solche Absorptionsmaschinen sollen hier betrachtet werden, welche mit Ammoniak und Wasser arbeiten, weil andere Absorptionsmaschinen bis jetzt keine praktische Wichtigkeit besitzen.

**) So nehmen wir $t_a = t$ an.

von solchen Versuchen bekannt sind — deren Ausführung volle Sicherheit der Zuverlässigkeit giebt — sind hier angehängt: sie gehören einer Kompressionsmaschine an.*)

Tabelle I. Ammoniak-Kompressionsmaschine:
Bei den Münchener Versuchen**) wirklich erhaltene Resultate.

Nummer der Versuche	1	2	3	4	5
Temperatur der kalten Salzwasserlösung***)					
Eintritt in Graden C.	6,219	— 2,031	— 10,026	— 17,933	— 2,08
Austritt t in Graden C.	2,808	— 5,069	— 12,905	— 21,044	— 4,96
Specifiche Wärme des Salzwassers (pro Volumeneinheit)	0,8608	0,8508	0,8427	0,8374	0,83
Circulirende Salzwassermenge pro Stunde Liter	29430,2	25734	17949	11750,2	22678,3
Producirte Kälte, metrische Wärme-einheiten pro Stunde	86421	66515	43539	30611	55511
Temper. des Kühlwassers im Kondensator					
Eintritt in Graden C.	9,351	9,709	9,406	9,489	9,55
Austritt t_c in Graden C.	19,291	20,007	19,601	19,593	34,25
Kühlwassermenge pro Stunde in Liter .	9592,1	7385,3	5309,3	3963,7	2768
Aus dem Kondensator abgeführte Wärme pro Stunde in metr. W.E.	95345	75953	54128	40049	68325
Indic. Pferdekkräfte im Kompressorcyliner	14,51	14,49	13,72	12,14	30,02
" " im Dampfcyliner . .	16,00	16,70	15,49	14,44	21,91
Dampfverbrauch pro Stunde in kg . .	141,30	152,4	138,74	126,46	195,14
Producirte Kälte pro Stunde in metr. W.E.					
Per Ind. Pf. H. im Kompressor " " "	5955,3	4590,4	3173,4	2521,5	2772,8
" " " " im Dampfcyliner " " "	5400,7	3983	2810,7	2119,9	2533,6
Pro kg Dampf " " "	611,5	436,4	313,8	242,1	284,5
$\eta = \frac{Q}{AL} \times \frac{t_c - t}{460 + t}$	0,548	0,635	0,569	0,585	0,48
$\frac{Q}{Q'} = \frac{\text{Producirte Kälte}}{\text{Aufgewendete Wärme}}$	0,970	0,708	0,490	0,393	0,48

*) Die Versuche, auf die wir uns beziehen, wurden im Monat Mai 1893 in der „Versuchsstation für Kältemaschinen des Polytechnischen Vereins“ in München durch ein Comité dieser Gesellschaft ausgeführt. Das Comité ist zusammengesetzt aus fünf Professoren der Ingenieur-Mechanik, die an fünf technischen Hochschulen angestellt sind, ein Mitglied ist Dr. Zeuner, zwei sind Professoren der Physik, einer Chemiker und andere. Der Vorsitzende und Berichterstatter ist Prof. Schröter von München. Es ist zu bedauern, dass bis jetzt nur Fabrikanten von Ammoniak-Kompressionsmaschinen sie in die Lage genauer Prüfung ihrer Maschinen gebracht haben; doch sind mehrere Ammoniak-Kompressionsmaschinen und eine Schwefligsäuremaschine geprüft worden.

**) Siehe Bayrisches Industrie- und Gewerbeblatt. München 1893.

***) Das specifische Gewicht der Salzlösung — eine Lösung von Chlorkalium in Wasser — war 1,249 bei 17,5 Grad C. bei allen Versuchen.

†) In der Berechnung von η , d. h. das Verhältniss zwischen der wirklichen Leistung $\frac{Q}{AL}$ und der theoretischen Maximalleistung $\frac{Q}{AL} = \frac{273 + t}{t_c - t}$, ist die von der Maschine

Der Motor war hier eine kleine eincylindrige Kondensations-Dampfmaschine von 28 cm Durchmesser, 70 cm Hub, an welcher der Haupt- μ bestimmt war zu $\mu = 0,114$.

Mit einer grösseren Compound-Dampfmaschine mit $\mu = 0,158$, entgehend den neuen Leistungen einer solchen Dampfmaschine, d. h. mit kg Dampfverbrauch pro Stunde und indicirte Pferdekraft folgen dann die Resultate:

belle Ia. Ammoniak-Kompressionsmaschinen: Wirkliche Leistung auf eine Compound-Dampfmaschine als Motor reducirt:

Nummer der Versuche . . .	1	2	3	4	5
Producirte Kälte	1,362	1,001	0,678	0,533	0,637
Aufgewendete Wärme . . .					

Um einen Vergleich dieser Werthe mit dem theoretischen Maximumleistung einer Absorptionsmaschine herbeizuführen, haben wir in der Tabelle (3) die Werthe zu substituiren, welche korrespondiren mit den Temperaturen, zwischen welchen die Versuche Nr. 1—5 gemacht worden.

Es werden dann die folgenden Maximalwerthe*) für $\frac{Q}{Q_1}$ erhalten, für die Leistung einer Absorptionsmaschine ohne Berücksichtigung der Verlusten, auch nicht der Arbeit der Flüssigkeitspumpe und des für Ammoniak gebrauchten Wassers:

Tabelle II. Ammoniak-Absorptionsmaschine.

Nummer der korrespondirenden Münchener Versuche	1	2	3	4	5
Korrespondirende Temperatur t_1 in Grad C.	2,78	— 5,0	— 13,33	— 21,1	— 5,0
Korrespondirende Temperatur t_2 in Grad C.	20	20	20	20	35
Theoretische Maximalleistung $\frac{Q}{Q_1} =$	0,534	0,527	0,522	0,516	0,493

Ein Vergleich der Tabellen I und Ia mit Tabelle II ergibt:

1. Die in München erreichte Leistung der Ammoniak-Kompressionsmaschine für die Versuche Nr. 1 und 2 ist grösser als die theoretische an

genommene Arbeit L_e angenommen gleich der indicirten Arbeit der Dampfmaschine, d. h. die indicirte Arbeit der Dampfmaschine aufwendend, ohne Kompressor.

*) In Uebereinstimmung mit den Schlussfolgerungen von Ledoux und Denton — „Amer. Soc. Mech. Eng. Band X. Die Absorptionswärme ist dort zu 925,7 Wärmeeinheiten angenommen = 233,1 metr. W.E.

einer Absorptionsmaschine, sogar ohne Berücksichtigung der Verluste überhaupt erreichbare Leistung. 2. Die wirkliche Leistung der Kompressionsmaschine ist auch höher in den Versuchen 3, 4 und 5, wenn eine Compoundmaschine als Motor gewählt wird, deren Dampfverbrauch 6,35 kg pro Stunde und indicirte Pferdekraft ist.*)

Behufs besserer Uebersicht dieser Resultate ist die folgende Tabelle III angefertigt, welche die Werthe der betreffenden Verhältnisse der wirklichen Leistung der Kompressionsmaschine zu dem theoretischen Maximum der Leistung der Absorptionsmaschine darstellt:

Tabelle III.

Nummer der Versuche . .	1	2	3	4	5
Temperatur des Kühlwassers beim Austritt aus dem Kondens. ° C.	20	20	20	20	35
Endtemperatur der kalten Salzlösung in ° C.	2,78	— 5,0	— 13,33	— 21,1	— 5,0
Wirkliche Leistung der Kompressionsmaschine dividirt durch die theoretische Maximalleistung der Absorptionsmaschine					
nach Tabelle I	1,816	1,939	0,939	0,762	0,937
nach Tabelle Ia	2,551	1,398	1,299	1,033	1,292

Obleich aus dem Vorhergehenden als höchst wahrscheinlich geschlossen werden kann, dass für alle für die Praxis in Betracht kommenden Temperaturen die wirkliche Leistung der Ammoniak-Kompressionsmaschine guter Konstruktion der Leistung der Absorptionsmaschine überlegen ist, so soll doch nur angenommen werden, dass das Folgende bewiesen ist: Mit Ammoniak-Kompressionsmaschinen sind wirkliche Leistungen erhalten, welche in den Temperaturgrenzen $t_e - t \leq 24$ Grad Celsius**) — d. i. die Temperaturdifferenz zwischen dem ablaufenden Kühlwasser

*) Die wirkliche Leistung der Absorptionsmaschine scheint nach den bis jetzt bekannten Erfahrungen nicht 50 Proc. der Maximalleistung zu überschreiten — Professor Schröter in seinen „Untersuchungen an Kältemaschinen“ München 1887 — hat für $t = -11^\circ \text{C.}$ und einer Eintrittstemperatur des Kühlwassers von etwa 10°C. an drei verschiedenen Absorptionsmaschinen (bei Vernachlässigung der Arbeit der Flüssigkeitspumpe) gefunden $\frac{Q}{Q'} = 0,17; 0,23$ und $0,25$; wenn der für die Pumpenarbeit und Antrieb erforderliche Dampf eingeschlossen wird, nur etwa $0,10; 0,145$ und $0,15$. F. E. Denton — „Trans.“ Amer. Soc. of Mech. Eng. vol. X, Seite 792 — hat für $t = 16^\circ \text{F.}$ ($8,9^\circ \text{C.}$) eine Eintrittstemperatur des Kühlwassers von 54°F. ($12,2^\circ \text{C.}$) und Austrittstemperatur von 80°F. ($26,67^\circ \text{C.}$) gefunden $\frac{Q}{Q'} = 0,30$ ohne Dampf für die Flüssigkeitspumpe und $0,26$ einschliesslich desselben.

**) Dabei ist vorausgesetzt, dass die Flüssigkeit, welche das Expansionsventil erreicht, die Temperatur t_e besitzt.

der Endtemperatur der Salzlösung (t) — die Leistungen über welche durch Absorptionsmaschinen überhaupt erlangt werden, selbst wenn es möglich wäre, den Kreislauf ohne Verluste irgend Art durchzuführen. Innerhalb dieser Temperaturgrenzen können bei Aenderungen oder Verbesserungen der Absorptionsmaschinen die Lage bringen, dieselbe Kältemenge zu produciren mit einem Wärmeverbrauch gleich dem, der bei den Versuchen in München für eine Ammoniationsmaschine genügte.

Schweflige Säure, Ammoniak oder Kohlensäure? Die theoretische Maximalleistung einer Kompressionsmaschine ist nach Formel (1) unabhängig von der benutzten Flüssigkeit. Ein Unterschied in der Leistung rührt aber nur in Arbeits- und Wärmeverlusten liegen.

Expansion vom Kondensator nach dem Verdampfer. Formel (2) bezieht sich auf den vollständigen Carnot'schen Kreisprozess, der aus 2 Isothermen und 2 Adiabaten besteht. Es ist indessen wohl bekannt, dass die Kompressoren nur zwei dieser vier vollkommenen Vorgänge durchzuführen, während für den vierten Vorgang, d. i. die adiabatische Expansion von der Kondensatortemperatur auf die Verdampfertemperatur eine direkte Ueberführung der Flüssigkeit substituirt ist, wodurch die Flüssigkeitswärme dem Verdampfer mitgetheilt wird, so dass pro Kilogramm der Flüssigkeit nur die Wärme $r - (q_1 - q)$ dem zu kühlenden Körper entzogen wird. Es ist klar, dass der Verlust um so grösser sein wird, je grösser die Flüssigkeitswärme im Verhältniss zu der latenten Wärme des arbeitenden Körpers ist. Tabelle IV stellt die Verhältnisse nach dieser Richtung bei den drei industriell wichtigen Flüssigkeiten dar.

Tabelle IV.

C.	Schweflige Säure			Ammoniak			Kohlensäure		
	Latente Wärme*)	Flüssigkeitswärme	Leistungsverlust	Latente Wärme	Flüssigkeitswärme	Leistungsverlust	Latente Wärme	Flüssigkeitswärme	Leistungsverlust
	r	$q_c - q$	ξ	r	$q_c - q$	ξ	r	$q_c - q$	ξ
10	91,200	4,066	0,0171	314,86	10,542	0,0181	56,86	9,78	0,0983
20	93,437	7,492	0,0411	320,82	20,247	0,0349	64,28	17,83	0,1813
30	95,00	10,279	0,0618	325,84	29,113	0,0507	70,44	24,72	0,2426
10	91,200	8,771	0,0522	314,86	21,923	0,0387	56,86	22,70	0,2843
20	93,437	12,197	0,0758	320,82	31,623	0,0565	64,28	30,75	0,3646
30	95,00	14,984	0,0972	325,84	40,494	0,0735	70,44	37,65	0,4252
10	91,200	14,115	0,0888	314,86	34,141	0,0652	56,86	46,91	0,7834
20	93,437	17,541	0,1146	320,82	43,846	0,0813	64,28	54,96	0,8311
30	95,00	20,328	0,1380	325,84	52,712	0,0993	70,44	61,86	0,8662

*) Die Zahlen für latente und Flüssigkeits-Wärme sind Zeuner's Tafeln für Schweflige Säure und Ammoniak und Schröter's Tafel für Kohlensäure entnommen.

Jede dritte Kolumne zeigt den Leistungsverlust ξ an,*) d. h. desjenigen Theiles des Kälteeffekts, der der Unvollkommenheit des Arbeitsprozesses zur Last fällt, unter der Voraussetzung, dass der Kompressor trockene Dämpfe von der Verdampfer Temperatur ansaugt. Das ungünstige Verhältniss der Flüssigkeitswärme zu der latenten Wärme bei der Kohlensäure erklärt, warum die Leistung der Kohlensäuremaschine weit hinter der Leistung der Ammoniakmaschine zurückbleibt, und zwar wachsend mit der Steigerung der Temperaturdifferenz. Bei einer Flüssigkeitstemperatur von etwa 15°C . am Expansionsventil steigt der Verlust ξ in einer Kohlensäuremaschine auf etwa ein Drittel der Maximalleistung, während bei der Ammoniakmaschine nach den Münchener Versuchen, siehe Tabelle I zweitletzte Reihe, die Summe aller Verluste zusammen nicht diese Höhe erreicht. Wenn die Flüssigkeitstemperatur 31°C . erreicht, so hört jeder Nutzen durch die Verdampfung der Kohlensäure auf, weil die vom Kondensator dem Verdampfer zugeführte Flüssigkeitswärme gross genug ist, um die Verdampfungswärme zu neutralisieren.***) Es ist versucht worden, den Leistungsverlust ξ durch Einschaltung eines Speisecylinders zwischen Kondensator und Verdampfer zu beseitigen, und dadurch die adiabatische Expansion zu erzielen. Bis jetzt haben diese Bemühungen noch keinen Erfolg gehabt. Aber wenn auch die bestehenden Hindernisse überwunden werden, — auch die, welche durch die Veränderung der Temperaturgrenzen entstehen, — so sollte es doch klar sein, dass durch diesen Expansionsprozess nur ein Theil der theoretisch verfügbaren Arbeit gewonnen werden kann, und dass, wenn die Temperatur t_e sich der kritischen Temperatur nähert, der Speisecylinder am Ende der Expansion nur eine geringe Menge flüssiger Kohlensäure enthalten wird, weil der grösste Theil bereits verdampft sein wird. Es sind daher die vom Kompressor angesaugten Dämpfe zum geringsten Theil im Verdampfer gebildet, sondern vielmehr im Speisecylinder. Die Grösse des Kompressors hat sich aber zu richten nach dem Volumen der sowohl im Verdampfer wie im Speisecylinder gebildeten Dämpfe, und es folgt, dass seine Grösse ebenso wie die des Speisecylinders erheblich sein wird.

Ein anderer Vorschlag, den Leitungsverlust ξ zu vermindern, besteht darin, die Flüssigkeit zuerst vom Kondensatordruck auf einen mitt-

*) Berechnet nach Technische Thermodynamik von Dr. G. Zeuner S. 462.

**) Das wirkliche Vorhandensein dieser Verhältnisse bei einer Temperatur von 31°C , d. i. bei der kritischen Temperatur der Kohlensäure, kann durch Folgendes bewiesen werden: Die Gesamtwärme λ für gesättigte Dämpfe ist für eine höhere Temperatur t_e grösser als für eine niedrigere Temperatur t . Wenn $\lambda = q + r$, dann wird $q_e - q > r - r_e$. Wenn die höhere Temperatur t_e nun bis zur kritischen Temperatur t_R ansteigt, für welche die latente Wärme $= 0$ ist, so finden wir $q^R - q > r$. Nahe der kritischen Temperatur ist $q^R - q$ nahezu $= r$; je weiter die Temperaturen t_R und t von einander entfernt sind, desto kleiner wird der Werth r im Vergleich zu $q^R - q$.

ren Druck expandiren zu lassen, worauf die hierbei gebildeten Dämpfe durch einen Hilfskompressor zum Kondensator zurückgeführt werden. Der Rest der Flüssigkeit wird dann auf dem gewöhnlichen Wege dem Verdampfer zugeführt. Es ist indessen klar, erstens, dass dadurch der schädliche Einfluss der relativ grossen Flüssigkeitswärme nur zum Theil aufgehoben werden kann, und zweitens, dass die Maassregel sich als in der That nutzlos zeigen wird, wenn die Anfangstemperatur des Kühlwassers sich der kritischen Temperatur der Kohlensäure nähert.*) Ausser den hier besprochenen Wärmeverlusten giebt es noch eine ganze Reihe anderer wohl bekannter Verluste in Kompressionsmaschinen; sie stammen zum Theil theils von Wärmeaustausch durch die Cylinderwandungen, Einfluss der schädlichen Räume, Undichtigkeiten durch Kolben und Ventile, Druckverluste von inneren Reibungen — namentlich bei dem Regulirventil —, zum Theil sind durch äussere Widerstände Reibungen verursacht.

Reibung.

Der Gesamtverlust durch Reibung ist im Grunde abhängig von den Kompressor- und Cylinderdimensionen, die für die verschiedenen Flüssigkeiten erforderlich sind. Es ist bekannt, dass dies eine der Hauptursachen für die relativ grosse Betriebskraft ist, welche die Maschinen gebrauchen, für welche die Reibung bis 20 und 30 Proc. der indicirten Arbeit ansteigt. Für Schwefligsäuremaschinen hat Schröter**) sie zu 10 bis 11 Proc. und für die Linde'schen Ammoniakmaschinen zu 5 bis 7 Proc. gefunden. Die Frage ist, ob irgend eine Ersparung darin durch Anwendung von Kohlensäure entstehen kann. Die Antwort fällt verneinend***) aus.

*) Die ungünstigsten Konsequenzen bei dem Verhalten der Kohlensäuremaschine nahe dem kritischen Punkt, wie sie aus den besprochenen physikalischen Thatsachen folgern, werden beharrlich geleugnet, und Fälle sind vorgekommen, in welchen solche Maschinen wirklich mit höheren Kühlwassertemperaturen arbeiten. Die Erklärung des scheinbaren Widerspruchs ist erstens, dass oft die Endtemperatur des Kühlwassers, welches den kritischen Punkt überschreitet, vor Augen tritt, während die Anfangstemperatur für die gegenwärtige Betrachtung entscheidend ist; zweitens, dass es möglich ist, einen verhältnissmässig geringen Theil Wärme auch in dem Falle zu gewinnen, wenn die Anfangstemperatur die kritische Temperatur überschreitet, dadurch dass man eine Verdampferspannung erhält, die einer Temperatur entspricht weit unter derjenigen, bei welcher die Wärme dem zu kühlenden Körper entzogen werden soll. Nach dem eben Gesagten kann alsdann durch Verdampfung Wärme nicht entzogen werden, wohl aber ist es möglich, dass die durch den Verdampfer ziehenden Dämpfe sehr niedriger Temperatur eine gewisse spezifische Wärme aufnehmen. Die Kühlwirkung der Maschine ist dann auf denselben Principien einer Kaltluftmaschine mit geschlossenem Kreislauf basirt.

**) Untersuchungen an Kältemaschinen. München 1887, Seite 117—139, und Vergleichende Versuche an Kältemaschinen. München 1890, Seite 65—79.

***) Die Dimensionen der Ammoniakkompressoren sind schon so klein, dass ihre Tubulänge gewöhnlich auch für Kohlensäure angewendet wird, weil eine Verminderung

Druckverluste. Widerstand in den Ventilen.

Der Einfluss der Druckverluste ist nicht unbedeutend, d. h. der Unterschied zwischen Verdampferdruck und dem Druck im Kompressor während der Saugperiode, und zwischen Kondensatordruck und dem Druck im Kompressor während der isothermischen Kompression. Wenn diese Drucklinien auf dem Indikatordiagramm gezogen sind, so wird sofort klar, dass die Verlustflächen grösser werden, je kleiner der mittlere Druck ist, und dies kann wie folgt berechnet werden:

Mag der Druckverlust an der Saugseite 0,1265 kg sein pro qcm und der an der Druckseite 0,158 kg,*) und mag die Periode der isothermischen Kompression bis 40 Proc. des Hubes ansteigen, dann wird die Summe dieser Druckverluste 0,1898 kg pro qcm Kolbenfläche für den ganzen Hub sein. Für einen mittleren indicirten Druck von 1,898 kg bei schwefliger Säure, 3,866 kg bei Ammoniak und 23,20 kg bei Kohlensäure ergeben sich die Verluste durch Druck zu respective 14,8, 5,0 und 0,8 Proc.

Schweflige Säure. Diese Flüssigkeit bietet nach keiner der besprochenen Richtungen irgend einen Vortheil betreffs der Leistung gegenüber Ammoniak; im Gegentheil zeigen die vorangegangenen Erörterungen, dass die wirkliche Leistungsfähigkeit der Schwefligsäuremaschinen weit hinter den Ammoniakmaschinen zurückbleibt, wie auch bei den erschöpfenden Vergleichsversuchen, die unter Schröter's Leitung in den Jahren 1886—1889 an verschiedenen Pictet-Maschinen gemacht worden sind, die in den hier wiederholt erwähnten Berichten veröffentlicht sind, bewiesen worden ist. (? d. Verf.)

Kohlensäure. Was Kohlensäuremaschinen betrifft, so ist zu bedauern, dass wirkliche Resultate bis jetzt nicht veröffentlicht sind. Beobachtungen an privaten Versuchen, welche zu des Vortragenden Kenntniss gekommen sind, bestätigen das vorhin Gesagte. Die Leistung weicht nur wenig von der der Ammoniakmaschinen ab, so lange der Temperaturunterschied sehr klein ist; aber mit wachsender Temperatur nimmt die Leistung ab — wie in Tabelle IV gezeigt ist —, so schnell, dass z. B.

derselben ungünstig auf die schädlichen Räume einwirken würde und die Triebwerke verhältnissmässig grosse Uebersetzungen erhalten würden. Für gleichen Hub aber werden die durch den Kolben auf die Antriebtheile übertragenen Kräfte und daher auch die Reibung in den Hauptlagern, Kurbel und Gradführungen etwas grösser, aus den angeführten Gründen, als für Ammoniak. Die Kolbenreibung kann wegen des geringeren Umfangs des Kolbens ein wenig kleiner bei Kohlensäure sein, aber dies wird aufgehoben durch die Zunahme der Reibung der Kolbenstange, die gegen höheren Druck abgedichtet werden muss.

*) Dies sind die Werthe, welche den Abmessungen an gut konstruirten Kompressoren entsprechen, die mit mässiger Geschwindigkeit arbeiten — siehe die erwähnten Veröffentlichungen durch Schröter.

bei einer Verdampfer Temperatur von -10° C. und einer Anfangstemperatur des Kühlwassers von etwa 15° C. der Kraftbedarf einer Kohlensäuremaschine gleicher Kälteleistung wenigstens 50 Proc. grösser ist als der einer Ammoniakmaschine.

Ammoniak. Betrachtungen über die physikalischen Eigenschaften von Ammoniak und die Resultate zuverlässiger und veröffentlichter Versuche bestätigen, dass Ammoniak- (und Schwefligsäure- d. Verf.) Kompressionsmaschinen den höchsten Wirkungsgrad unter den verschiedenen Kühlmaschinen bei allen Temperaturgraden besitzen. Es mag andere berechtigte Gründe geben, bei gewissen speciellen Umständen Kaltluftmaschinen, Kohlensäuremaschinen oder Absorptionsmaschinen vorzuziehen, aber dann muss die Erlangung höchsten Wirkungsgrades in zweiter Reihe stehen.*)

Betreffend Versuche an Kühlmaschinen.

Die weitere Erörterung von Fragen, welche den wirklichen Wirkungsgrad von Kühlmaschinen betreffen, ist abhängig von der exakten Ausführung der Versuche. Für den Vergleich zwischen den erhaltenen Resultaten ist es nicht nur von Werth zu wissen, dass sie von ganz korrekten Messungen stammen, sondern auch, dass sie auf einer gemeinsamen Grundlage beruhen, so dass das Versuchsprogramm ein und dasselbe für gewisse wichtige Punkte ist. Für ähnliche Zwecke — zum Beispiel für Verdampfungsversuche an Dampfkesseln, für Leistungsversuche an Dampfmaschinen, für Versuche an Pumpen — sind die Ingenieure einig in der Beobachtung bestimmter Regeln. Es würde von höchster Wichtigkeit für den Zweig der Kühlmaschinen sein, wenn solches Programm von allen Sachverständigen angenommen würde, derart, dass dasselbe überall dort zur Anwendung käme, wo beabsichtigt wird, Versuchsergebnisse zu vergleichen mit solchen, die anderwärts erlangt sind.

Allgemeines Programm. Der Vortragende unterbreitet hier seine Vorschläge für ein solches Programm und fordert zur Diskussion darüber auf. Die folgenden Fragen sind zuerst zu behandeln: Was soll gemessen werden? Wie soll die Messung vorgenommen werden? Wie sind die Resultate niederzuschreiben zu Vergleichszwecken? Eine Antwort auf die ersten beiden Fragen wird gefunden werden, wenn man berücksichtigt, dass der Zweck der Versuche ist, das Verhältniss der Konsumtion und Produktion zu bestimmen, so dass sowohl der Kühleffekt wie die

*) Es ist nicht behauptet, dass jede Ammoniak-Kompressionsmaschine jeder Absorptions- oder Kohlensäuremaschine überlegen sei. Der Unterschied in der Leistung verschiedener Maschinen eines und desselben Systems ist gross genug, um eine gut konstruirte Absorptions- oder Kohlensäuremaschine einer schlecht gebauten Ammoniak-Kompressionsmaschine überlegen erscheinen zu lassen. Was hier gesagt ist, bezieht sich ausdrücklich auf Maschinen gleich guter Konstruktion.

Wärme — oder mechanische Arbeit —, welche aufgewendet wurde, gemessen werden muss, sowie auch das Kühlwasser. Unter Kälteleistung wird das Produkt der Anzahl Wärmeeinheiten (Q) verstanden, welche dem zu kühlenden Körper entzogen sind, und der Quotient $\frac{T_c - T}{T}$, d. h. die Differenz zwischen der Temperatur T_c , mit welcher die Wärme an das Kühlwasser übergeht, und die Temperatur T , mit welcher die Wärme dem zu kühlenden Körper entzogen wird, dividirt durch diese letztere — absolute — Temperatur. Die Bestimmung der Kältemenge wird nur dann mit der erforderlichen Genauigkeit möglich sein, wenn die Maschine während des Versuchs benutzt wird, um eine Flüssigkeit abzukühlen, und wenn die Kälte bestimmt wird von der circulirenden Flüssigkeitsmenge für die Zeiteinheit vom Grade der Abkühlung und von ihrer specifischen Wärme. Genügende Genauigkeit kann weder erhalten werden von der Abkühlung eines Stromes circulirender Luft, noch von der Herstellung einer gewissen Eismenge, noch von einer Berechnung der in der Maschine circulirenden Flüssigkeit — zum Beispiel der durch den Kompressor circulirenden Menge Ammoniak. Dagegen wird die Abkühlung einer Salzlösung allgemein als Grundlage für Versuche dienen können, die Ansprüche auf Genauigkeit machen wollen. Gleichzeitig sollte der Grad der Abkühlung nicht grösser als nöthig genommen werden, um den Grad der Temperatur mit der nöthigen Genauigkeit messen zu können, und hierfür genügt eine Temperatur von -14° bis -15° C. Dieselbe Behandlung kann bei Messung des Kondensator Kühlwassers und seiner Temperatur angewendet werden, jedoch nur mit genügender Sicherheit mit ganz mit Kühlwasser angefüllten Kondensatoren, weil bei Berieselungskondensatoren atmosphärische Einflüsse eine Rolle spielen, welche nicht mit genügender Sicherheit beurtheilt werden können. Die Messung der circulirenden Salzlösung und des Kühlwassers wird gewöhnlich durch Wassermesser bewirkt und der Stand derselben in die Listen eingetragen. Wenn die nöthige Vorsicht beobachtet wird, so ist diese Methode anwendbar. Für ganz genaue Versuche müssen indessen zwei genau ausgemessene Kästen angewendet werden, welche abwechselnd gefüllt und geleert werden. Um das Maass der Temperaturen von Salzlösung und Kühlwasser bei Ein- und Austritt aus dem Verdampfer resp. Kondensator festzustellen, sind genau konstruirte und gut übereinstimmende Thermometer ganz unerlässlich. Nicht weniger wichtig ist die Vorsicht, gleichzeitig an jeder Stelle zwei Thermometer anzubringen und die Stellung einer solchen Thermometerserie am Eintritt und Austritt nach Erledigung der Hälfte der Versuche umzuwechseln, damit etwaige Fehler korrigirt werden. Es ist kaum nöthig die Wichtigkeit hervorzuheben, dass mit besonderer Vorsicht die specifische Wärme der Salzlösung bestimmt wird für jede

Temperatur, weil kleine Verschiedenheiten in der chemischen Zusammensetzung und der Konzentration der Salzlösung beträchtliche Veränderungen verursachen können. Bei jeder Gelegenheit sollte die Natur der Salzlösung und seiner Konzentration in den Bericht eingetragen werden.

Was die Messung des Verbrauchs betrifft, so wird man in dem Programm keine besonderen Regeln in Fällen aufzustellen brauchen, in denen nur Dampf und Kühlwasser zu messen sind, was hauptsächlich bei Versuchen mit Absorptionsmaschinen der Fall ist. Bei Kompressionsmaschinen liegt die Sache weniger einfach, weil bei ihnen der Dampfverbrauch abhängt sowohl von der Güte der Dampfmaschine, wie von der Kühlmaschine, während es durchaus wünschenswerth ist, den Verbrauch der ersteren getrennt von dem der letzteren zu kennen. Gewöhnlich sind Dampfmaschine und Kompressor direkt zusammen gekuppelt, so dass es unmöglich wird, die durch die Kühlmaschine absorbirte Arbeit direkt zu messen; so muss es genügen, die indicirte Arbeit der Dampfmaschine und des Kompressors zu bestimmen. Durch weitere Messung der Arbeit der leer laufenden Maschine und Vergleich der Kraftdifferenzen zwischen Dampfmaschine und Kompressor, resultirend aus grossen Variationen der Kondensatorspannungen, kann der wirkliche Arbeitsverbrauch L_0 der Kühlmaschine sehr genau gefunden werden. Im Allgemeinen wird es genügen, die im Dampfzylinder gefundene indicirte Arbeit zu benutzen, weil aus dieser Beobachtung der Wärmeverbrauch direkt bestimmt werden kann. Für gewöhnlich sollte der Gebrauch der indicirten Arbeit im Kompressorzylinder zu Vergleichszwecken vermieden werden, erstens weil gewöhnlich gewisse Nebenapparate getrieben werden, Antriebtheile etc., die zu der gerade vorliegenden Kühlmaschine gehören, und zweitens, weil die äussere Reibung ausgeschlossen bleiben sollte.

Wärmebilanz. Wir besitzen ein wichtiges Mittel, um die bei jedem Versuch gefundenen Resultate auf ihre Richtigkeit zu prüfen, durch Anfertigung einer Bilanz über die zugeführte und wieder abgegebene Wärme. Nur solche Versuche sollten als unbezweifelt richtig angesehen werden, welche eine genügende Uebereinstimmung in der Wärmebilanz zeigen. Es mag zwar unter gewissen Umständen nicht leicht sein, genau die Wärmeübertragung zwischen den verschiedenen Theilen der Maschine und ihrer Umgebung durch Ausstrahlung und Leitung zu bestimmen, aber im Allgemeinen — besonders bei Kompressionsmaschinen — wird es möglich sein, für die zugeführte und abgegebene Wärme eine Bilanz mit nur kleinen Fehlern zu erhalten.

• Bericht über Versuche.

Berichte, welche zum Vergleich mit den an anderen Maschinen gefundenen Zahlen benutzt werden sollen, müssen daher wenigstens folgende Beobachtungen enthalten:

Verdampfer:

Circulirende Salzwassermenge pro Stunde	
Salzwassertemperatur beim Eintritt in den Verdampfer . .	
" " " Austritt aus dem Verdampfer	<i>t</i>
Specifisches Gewicht der Salzlösung (bei 17,8° C.)	
Specifische Wärme der Salzlösung	
Aufgenommene Wärme (producirte Kälte)	Q_e
Absoluter Druck im Verdampfer	

Kondensator:

Kühlwassermenge pro Stunde	
Temperatur beim Eintritt in den Kondensator	
" " " Austritt aus dem Kondensator	<i>t</i>
Abgegebene Wärme	Q_1
Absoluter Druck im Kondensator	
Temperatur der in den Kondensator eintretenden Dämpfe .	

Absorptionsmaschine.

Kessel:

Verbraucher Dampf pro Stunde	
Absoluter Druck des Heizdampfes	
Temperatur des kondensirten Dampfes beim Austritt . . .	
Dem Kessel zugeführte Wärme	Q_e

Absorber:

Kühlwassermenge pro Stunde	
Temperatur beim Eintritt	
" " " Austritt	
Abgeführte Wärme	Q_2

Pumpe für Ammoniaklösung:

Indicirte Arbeit der Dampfmaschine	
Dampfverbrauch für die Pumpe	
Wärmeäquivalent für die Arbeit der Pumpe	AL_p
Totalsumme der Verluste durch Strahlung und Leitung . .	$\pm Q_3$

Wärmebilanz:

$$Q_e + Q_e = Q_1 + Q_2 \pm Q_3.$$

Kompressionsmaschine.

Kompressor:

Indicirte Arbeit	L_t
Temperatur der Dämpfe beim Eintritt	
" " " " Austritt	

Dampfmaschine:

Speisewasser pro Stunde	
Temperatur des Speisewassers	
Absoluter Dampfdruck vor der Dampfmaschine	
Indicirte Arbeit der Dampfmaschine	L_e
Kondensationswasser pro Stunde	
Temperatur davon	
Totalsumme der Verluste durch Strahlung und Leitung . .	$\pm Q_3$

Wärmebilanz:

$$Q_e + AL_e = Q_1 \pm Q_3.$$

Für Berechnung der Leistung und für den Vergleich der verschiedenen Versuchsergebnisse muss die wirkliche Leistung mit dem theoretischen Leistungsmaximum $\left(\frac{Q}{AL}\right)$ verglichen werden, das dem Temperaturverhältniss $= \frac{T}{T_c - T}$ entspricht.

Temperaturverhältniss. Was die Temperaturen — T und T_c — betrifft, bei welchen die Wärme im Verdampfer abgeführt und im Kondensator zugeführt wird, ist es korrekt, die Temperatur der den Verdampfer erlassenden Salzlösung und die des den Kondensator verlassenden Kühlwassers*) zu wählen, weil es principiell unmöglich ist, den Verdampferdruck höher zu halten als der niedrigsten Temperatur der Salzlösung entsprechen würde, oder den Kondensatordruck zu reduciren unter den, der der Austrittstemperatur des Kühlwassers entspricht.**)

Einige Berichte über Versuchsergebnisse enthalten als Grenztemperaturen die dem wirklichen Manometerdruck entsprechenden Temperaturen, wie im Kondensator und Verdampfer beobachtet sind. Aber solche Methode zeigt nicht die wirklichen Temperaturen, wie es die Erfordernisse des einzelnen Falles verlangen; es sind Temperaturen vielmehr dargestellt, welche durch die Maschine erst erzeugt sind. Es ist im Allgemeinen anerkannt, dass — unter sonst gleichen Umständen — diejenige Maschine den höchsten Wirkungsgrad besitzen wird, bei welcher der Verdampferdruck am nächsten der Temperatur entspricht, bis zu welcher der abzukühlende Körper abgekühlt ist, und für welchen andererseits der Kondensatordruck am nächsten der Austrittstemperatur des Kühlwassers entspricht. Wenn, um die Maschine zu beurtheilen, die wirklichen Spannungen als unveränderlich angenommen werden, so werden gerade diejenigen Maschinen als von höherem Wirkungsgrade erscheinen, deren Erfolge, als Konsequenz der Unvollkommenheiten, weniger befriedigend sind.

*) Die theoretisch erreichbare niedrigste Austrittstemperatur an Ueberlaufkondensatoren wird diejenige Temperatur sein, welche der Wärmetransmission des Kühlwassers entspricht, gleich der producirten Kälte (Q) plus dem Wärmeäquivalent der mechanischen Arbeit $AL = Q \frac{T_c - T}{T}$. In Kompressionsmaschinen wird die Summe $Q + AL$ so unbedeutend beeinflusst durch die Abweichungen der wirklichen Arbeit von der theoretischen, dass wir die Austrittstemperatur als unveränderlich ansehen können. In Absorptionsmaschinen aber ist dies nur dann zulässig, wenn das Kühlwasser zuerst im Kondensator und dann die anderen Apparate passirt hat.

**) Obwohl es erforderlich ist, auf die Austrittstemperatur des Kühlwassers mit Bezug auf die Spannungen zu sehen, von welchem der Haupttheil der Wärme, die latente Wärme, abgeführt wird, sowie ein kleiner Theil zur Reduktion der Flüssigkeitswärme, ist doch als der entscheidende Punkt die Eintrittstemperatur des Kühlwassers anzusehen.

Selbst der Vergleich zwischen den Leistungen einer und derselben Maschine, die unter denselben äusseren, aber verschiedenartig inneren Verhältnissen arbeitet, führt zu Missdeutungen durch die bezeichnete Methode. Zum Beispiel wird bei einer Ammoniak-Kompressionsmaschine, welche gleichförmig mit einer gewissen Salzwassertemperatur und einer gewissen Kühlwasser-Austrittstemperatur arbeitet, aber in einem Falle nasse und im andern Falle trockene Dämpfe empfängt, der Verdampfendruck im letzteren Falle geringer, und der Kondensatordruck höher sein, als im ersten Falle. Es ist deutlich, dass in beiden Fällen die beanspruchte Arbeit der Maschine darin besteht, die zu entziehende Wärme von derselben niedrigen zu derselben höheren Temperatur zu erheben, und dass wir annehmen können, dass der durch die verschiedenen Arbeitsprozesse erzeugte Einfluss nur hervorgerufen sein kann durch Notirung der äussersten Temperaturen und nicht der wechselnden Temperaturen, welche abhängig sind von den Fluktuationen, denen das Ammoniak unterworfen gewesen ist. Solche Methode mag zulässig sein, um die Leistung einzelner Theile der Kühlmaschine zu erhalten, zum Beispiel des Kompressors, aber nicht für die Bestimmung der Leistung der ganzen Maschine. Gewiss sollte es nicht vernachlässigt werden, die Spannungen im Verdampfer und Kondensator zu notiren, aber so werthvoll wie diese Beobachtungen sein mögen für die Erfahrung verschiedener Einzelleistungen einer Maschine so nöthig ist es, zum Vergleich der wirklichen Kühleffekte verschiedener Maschinen, abzusehen von Temperaturen, welche abhängig sind von der Art und Konstruktion der Maschine und welche abhängig sind von äusseren Bedingungen des einen Falls. Ebenso gehen wir bei Beurtheilung einer Wasserwerksanlage unveränderlich aus von der wirklichen Förderhöhe und nicht von einigen Spannungen, welche bei irgend einem besonderen Punkte des Systems vorhanden sind. Wir haben daher in die Formel für die theoretische Maximalleistung einzusetzen:

$$T_c = 273 + t_c^{\circ} \text{C. und } T = 273 + t^{\circ} \text{C.}$$

Das Verhältniss η zwischen dem wirklichen und dem theoretischen Maximum wird dann:

$$\eta = \frac{Q_c}{AL_c} : \frac{Q}{AL} \text{ max.} = \frac{Q_c}{AL_c} \times \frac{t_c - t}{273 + t}.$$

Für Vergleichszwecke zwischen Kompressions- und Absorptionsmaschinen muss aber die wirklich abgeführte Wärmemenge $Q'_c = \frac{1}{\mu} AL_c$ eingeführt werden, und wir erhalten dann für den Vergleich zweier verschiedener Maschinen jeder Art das Verhältniss:

$$\eta_c = \mu \eta = \frac{Q_c}{Q'_c} \times \frac{t_c - t}{273 + t}.$$

Anhang.

Der Versuch Nr. 3 der fünf Versuche, deren Resultate in den Tabellen I, Ia und III gebracht worden sind, ist in der Zwischenzeit nochmals gemacht worden, und die Resultate sind jetzt die folgenden, die in noch befriedigenderer Uebereinstimmung mit den übrigen Versuchen sich befinden.

Tabelle I.

Wirkliche Leistung von Ammoniak-Kompressionsmaschinen.

Nummer des Versuchs	3
Temperatur der Salzlösung:	
Eintritt °C.	7,75
Austritt °C. (<i>t</i>)	4,87
Specifische Wärme der Salzlösung pro Volumeinheit	0,8427
Umlaufende Salzwassermenge pro Stunde in Liter	287,53
Produzirte Kälte in metrischen Wärmeeinheiten pro Stunde (<i>Q</i>)	43520
Temperatur des Kühlwassers im Kondensator:	
Eintritt °C.	27,184
Austritt °C. (<i>t_c</i>)	37,38
Kühlwassermenge pro Stunde in Kilogramm	5309,3
Im Kondensator abgeführte Wärme in metrischen Wärmeeinheiten pro Stunde	54155
Indicirte Pferdekkräfte im Kompressor (<i>L_c</i>)	13,53
„ „ in der Dampfmaschine (<i>L_d</i>)	15,28
Dampfverbrauch pro Stunde in Kilogramm	138,74
Produzirte Kälte pro Stunde in metrischen Wärmeeinheiten	
Pro indicirte Pferdestärke im Kompressor	3217
„ „ „ „ Dampfzylinder	2848
„ Kilogramm Dampf	142,3
$\eta = \frac{Q}{AL_c} \times \frac{t_c - t}{273 + t}$	0,606
$\frac{Q}{Q'}$ = Produzirte Kälte / Verbrauchte Wärme	0,509

Tabelle Ia.

Wirkliche Leistung von Ammoniak-Kompressionsmaschinen, bei Antrieb durch eine Compoundmaschine.

Nummer des Versuchs	3
$\frac{Q}{Q'}$ = Produzirte Kälte / Verbrauchte Wärme	0,713

Tabelle III.

Nummer des Versuchs	3								
Temperatur des Kühlwassers beim Austritt aus dem Kondensator °C. (t_c)	20								
Endtemperatur der Salzlösung °C. (t)	— 13,33								
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="border-left: 1px solid black;">Wirkliche Leistung der Kompressionsmaschine</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="border-left: 1px solid black;">Theoretische Leistung der Absorptionsmaschine</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="border-left: 1px solid black;">nach Tabelle I</td> <td>0,977</td> </tr> <tr> <td style="border-left: 1px solid black;">" " Ia</td> <td>1,368</td> </tr> </table>		Wirkliche Leistung der Kompressionsmaschine		Theoretische Leistung der Absorptionsmaschine		nach Tabelle I	0,977	" " Ia	1,368
Wirkliche Leistung der Kompressionsmaschine									
Theoretische Leistung der Absorptionsmaschine									
nach Tabelle I	0,977								
" " Ia	1,368								

Der Bericht über alle fünf Versuche ist veröffentlicht in Nr. 25 des Bayrischen Industrie- und Gewerbeblattes. München 1893.

Leistungs-
fähigkeit
von Kohlen-
säure-
maschinen.

L. A. Riedinger & Co. sagen über die Leistungsfähigkeit der Kohlensäure-Kühlmaschinen, dass „der Vergleich der verschiedenen Kompressions-Kältemaschinen gemeinlich auf der Grundlage von Berechnungen erfolge, welche sich auf die Flüssigkeitswärme und die latente Wärme der Kälteerzeuger stützen. Zunächst waren es die Berechnungen Zeuner's, auf welche von den Gegnern des Kohlensäuresystems zur Diskreditirung desselben hingewiesen wurde, obwohl Zeuner selbst für diese Berechnungen einen gewissen Vorbehalt insofern gemacht hat, als er in seiner Thermodynamik Bd. II S. 23 ausdrücklich hervorhebt, dass mangels genügender Beobachtungen für einige der in Betracht kommenden Dämpfe von ihm der Versuch gemacht wurde, die Flüssigkeitswärme und die latente Wärme unter Zugrundelegung gewisser Hypothesen abzuleiten, eine jedenfalls nicht unwichtige Bemerkung, welche aber bei der Ausnutzung der Zeuner'schen Berechnungsergebnisse gewöhnlich unterdrückt wurde.

In der That entsprechen aber diese Rechnungsergebnisse durchaus nicht den in der Praxis erzielten, thatsächlichen Resultaten, wie sich schon daraus ergibt, dass Zeuner die Kohlensäuremaschine bei einer oberen Temperatur von über 31° als überhaupt wirkungslos hinstellt (vergl. S. 466 desselben Bandes), während zahlreiche Maschinen das Gegentheil unwiderleglich beweisen.

Auch bei den zumeist vorkommenden Temperaturintervallen hat Zeuner über den Wirkungsgrad der Kohlensäuremaschinen Zahlen errechnet, welche sich mit den praktischen Ergebnissen durchaus nicht in Einklang bringen lassen.

Insbesondere sind die von ihm für die Flüssigkeitswärme benutzten Zahlen ganz wesentlich höher, als die in neuerer Zeit von Mollier angegebenen, weshalb auch die Berechnungen auf Grund dieser letzteren Zahlen an und für sich schon zu wesentlich günstigeren Ergebnissen für die Kohlensäuremaschinen führen. Es weisen dann auch die Berechnungen, welche beispielsweise Prof. Dr. Lorenz veröffentlicht hat, zwischen den

ptsächlichsten Kompressions-Kältemaschinensystemen, namentlich bei Anwendung des Flüssigkeitskühlers, nur mehr geringe Differenzen auf.

Aber auch diesen Rechnungsergebnissen gegenüber muss wohl darauf gewiesen werden, dass bei Gewinnung derselben eine Reihe von Faktoren in Betracht bleiben müsste, weil dieselben ziffernmässig nicht ohne weiteres auszudrücken sind. Doch lässt sich die Wichtigkeit dieser Einflüsse die thatsächlichen Leistungsergebnisse der verschiedenen Maschinensysteme immerhin auf Grund allgemeiner Schlussfolgerungen, insbesondere auch durch Rückrechnungen aus Versuchsergebnissen beurtheilen.

In erster Linie gehört hierher der volumetrische Wirkungsgrad der Pressoren. Derselbe hängt zweifellos von der Dichtigkeit der Kolbenventile, von der Grösse der schädlichen Räume und dem Kompressionsverhältniss, sowie von dem Verhältniss der indicirten Saug- und Druckschwingungen zu dem Verdampfer- und Kondensatordruck ab.

Nun sind bekanntlich die Dimensionen des Kompressionscylinders der Kohlensäuremaschine bei weitem am kleinsten; die Cylinderbohrung beträgt gemeiniglich weniger, als die Hälfte eines gleichwerthigen Ammoniakcylinders. In Folge dessen lässt sich die Cylinderbohrung bei der Kohlensäuremaschine nicht nur sehr genau ausführen und insbesondere auch die innere Cylinderwand durch Schleifen spiegelblank, also vollständig glatt herstellen, sondern es lässt sich die Genauigkeit dieser Bohrung auch über die Dauer erhalten, weil das Kolbengewicht ein so geringes ist, dass der Kolben überhaupt nicht von der Cylinderwand getragen zu werden braucht.

Wird noch berücksichtigt, dass die Kolbenliderung durch Lederlappen erfolgt, welche bekanntlich namentlich bei hohen Pressungen und glatten Metallflächen sehr wirksam sind, so sind die Voraussetzungen für die möglichste Vermeidung von Kolbenundichtheiten sicher in unvergleichlich höherem Maasse vorhanden, als bei anderen Maschinensystemen. Auch durch den geringeren Kolbenumfang an und für sich, durch die verhältnissmässig geringen Ventildimensionen, welche überdies auch noch die exakte Ausführung erleichtern, und durch die sehr beträchtliche Abdichtung wird die Erhöhung des volumetrischen Wirkungsgrades ebenso günstig, wie durch den Umstand, dass die weitgehendste Einschränkung der schädlichen Räume bei der Kohlensäuremaschine auf keinerlei Schwierigkeiten stösst, und dass das Kompressionsverhältniss unter sonst gleichen Umständen bei der Kohlensäure ein geringeres ist, als bei anderen in Betracht kommenden Gasarten.

Die an und für sich geringen Ventil- und Rohrleitungsabmessungen erleichtern es ausserdem, so zu dimensioniren, dass der Spannungsverlust insbesondere beim Ansaugen ein möglichst geringer wird.

Bezeichnet man nun als volumetrischen Wirkungsgrad des Kompressors das Verhältniss der zur Erzielung einer bestimmten Kälteleistung

nothwendigen Dampfmenge zu dem vom Kolben wirklich durchlaufenen Volumen, so lassen die vorstehend angeführten Faktoren für dieses Verhältniss bei der Kohlensäuremaschine grössere Werthe erwarten, als bei anderen Maschinen. Thatsächlich wurde dasselbe bei Kohlensäuremaschinen im gewöhnlichen Betrieb zu 90 Proc. und darüber nachgewiesen, während bei den von Schröter im Jahre 1890 veröffentlichten Versuchen für die Schwefligsäuremaschine 79 Proc., und für die Ammoniakmaschine 80 Proc. resultiren.

Weiter muss in Betracht gezogen werden, dass für die Beurtheilung eines Maschinensystems nicht nur das vielleicht in den ersten Wochen des Betriebes erzielte Leistungsverhältniss maassgebend ist, sondern dasjenige, welches in einer längeren Betriebsperiode konstatiert werden kann, dass aber mit der Zeit bei den Ammoniakmaschinen eine innere Verschlammung der Kühlrohre durch mitgerissenes und verseiftes Oel stattfindet, wodurch die ursprünglich vorhandene Leistung wesentlich beeinträchtigt wird.

Dieser Leistungsrückgang wird zwar seitens der Anhänger des genannten Maschinensystems bestritten, doch ist die Haltlosigkeit dieser Ablegung leicht einzusehen und nachzuweisen.

Der Schwefligsäuremaschine dagegen haftet einerseits der Nachtheil an, dass mangels richtiger Schmierung die Reibungsverluste relativ grösser werden und ausserdem, dass, sobald mit tieferen Temperaturen gearbeitet wird, wegen der auf der Saugseite herrschenden geringen Spannungen Luft eingesogen werden kann, welche eine Erhöhung des Arbeitsaufwandes und eine Veränderung der Kälteleistung mit sich bringt.

Aus diesen Darlegungen und Hinweisen ergibt sich, dass eine zutreffende Beurtheilung der Frage, welche Leistungsfähigkeit von den verschiedenen Kompressions-Kältemaschinensystemen zu erwarten ist, keineswegs auf einseitig theoretischer Grundlage möglich ist, dass vielmehr den theoretischen Vor- oder Nachtheilen der einzelnen Systeme solche praktischer Art gegenüber stehen, so zwar, dass die aus einseitigen Erwägungen gefolgerte Inferiorität eines Systems sich unter Umständen geradezu in das Gegentheil verwandeln kann.

Zu alledem kommt aber noch, dass die generelle Beurtheilung nach dem System unmöglich ein sicheres Bild von der Leistungsfähigkeit geben kann, welche von der einzelnen Maschine, welchem System sie auch immer angehören mag, zu erwarten ist, denn mehr noch als bei anderen Maschinengattungen spielen Dimensionirung und Ausführung bei den Kompressions-Kältemaschinen eine sehr bedeutende Rolle.

Es gilt dies insbesondere von der Ausführung der Kompressoren, von der Wahl der Grösse und Anordnung der Kühlflächen, sowie von der Art der Vertheilung des Kältemediums auf dieselben.

Nachdem diese Wahl innerhalb der durch den Verkaufspreis der Maschinen und durch den angestrebten Fabrikationsgewinn gezogenen Grenzen dem Erbauer der Maschinen überlassen bleibt, so mangelt auch nach dieser Richtung jede Berechtigung, die für das eine oder andere Maschinensystem in Anspruch genommene theoretische Ueberlegenheit ohne weiteres auf die einzelne Maschine zu übertragen.“

Ich habe diese Erörterung zu Gunsten der Kohlensäuremaschine vollständig aufgenommen, um auch den Standpunkt darzulegen, auf dem die Erbauer dieser Maschinen stehen. Eine weitere Besprechung kann unterbleiben, weil die einzelnen Bemerkungen in diesem Buche Erwähnung gefunden haben. Der Vergleich wird dem Leser gestatten, sich sein eigenes Urtheil zu bilden. Nur das sei hier hervorgehoben, dass der Arbeitsaufwand der Kohlensäure-Kompressionsmaschine bei gleicher Leistung stets grösser ist, als der der anderen Kompressionsmaschinen wegen der Nähe des kritischen Punktes. Es kann in unseren Breiten bei niedriger Kühlwassertemperatur obige Erörterung Beachtung verdienen. Aber in den Tropen oder auf Schiffen, die die Linie passiren, wo das Kühlwasser häufig 27 bis 29° C. hat, während der kritische Punkt der Kohlensäure bei 31,5° C. liegt, sinkt die Leistung der Kohlensäuremaschine auf einen niedrigen Punkt herab, wie wiederholt erörtert und nachgewiesen ist.

Interessant ist eine Besprechung der Schröter'schen Versuche durch Herrn Wehage in Berlin. Derselbe konstatiert die hervorragende Leistung der Kompressionsmaschinen gegenüber den Absorptionsmaschinen und Vacuummaschinen und erklärt die geringe Nutzleistung der letzteren beiden Maschinen vollständig richtig aus den grossen Temperaturunterschieden im Druckgefäss und im Verdampfer. Er meint dann: „Wenn bei der Untersuchung verschiedener Kältemaschinen die wesentlichen Umstände, insbesondere die Temperatur der Salzlösung, die Menge und Temperatur des Kühlwassers und dergleichen nicht dieselben sind, so erscheint es auch nicht gerecht, die durch eine Einheit der zugeführten Wärme gehobene Wärmemenge (er bezeichnet, wie jetzt vielfach üblich, die Temperaturunterschiede als Temperaturgefälle) als Maassstab für den Vergleich zu benutzen. Viel passender hält er, das Produkt aus jener Wärmemenge und der Temperaturhöhe, um welche sie gehoben ist, als Ausdruck für die Nutzwirkung zu wählen, weil ja bei dem vollkommenen Kreisprozess die unmittelbar als Wärme oder in Form von Arbeit zuzuführende Wärme sowohl proportional der zu hebenden Wärmemenge, als auch der zu überwindenden Temperaturhöhe ist. Letztere ist gleich zu setzen dem Abstände der beiden Grenztemperaturen im Verdampfer und Kondensator, zwischen

Wehage
Be-
sprechung
der
Schröter
schen
Versuch

welchen der Kreisprozess stattfindet. Da bei allen Kältemaschinen die Wärme an Wasserdampf gebunden zugeführt wird, so kann für den Vergleich der verschiedenen Maschinenarten mit einander die zu hebende Wärmemenge auf 1 kg Dampf oder, was auf dasselbe herauskommt, auf 1 kg Kesselspeisewasser bezogen werden. Um die verschiedenen Kompressionsmaschinen unter sich zu vergleichen, erscheint es dagegen angemessen, die geförderte Wärmemenge auf eine indicirte Pferdekraft der Druckpumpe (des Kompressors) zu beziehen (wie auch in diesem Buche durchgeführt), damit das Güteverhältniss der benutzten Dampfmaschine wie auch der Druckpumpe, der Einfluss der Transmission und dergleichen ausgeschieden werden.

Bezeichnet nun:

W_s die gehobene Wärmemenge (auch producirte Kälte bezeichnet) für 1 kg Speisewasser,

W_p dieselbe für 1 ind. Pferdekraft der Druckpumpe,

t_o die höchste Temperatur der Arbeitsflüssigkeit (im Kondensator) und

t_u die tiefste Temperatur derselben (im Verdampfer), so ergibt sich nach den Angaben des Schröter'schen Berichtes folgende Zusammenstellung:

	W_s	t_o	t_u	$t_o - t_u$	$W_s (t_o - t_u)$	W_p	$W_p (t_o - t_u)$
Absorption, Vaass & Littmann	93,5	23,1	- 23,6	46,7	4370	—	—
do. do.	85,8	36,8	- 21,7	58,5	5000	—	—
Kompression, Linde . . .	305,2	13,0	- 11,5	24,5	7480	4100	100 000
do. do.	241,—	35,4	+ 3,1	32,3	7800	3360	108 000
do. do.	215,—	16,5	- 12,6	29,1	6260	2920	85 000
do. do.	188,—	25,3	- 7,6	32,9	6200	2390	79 000
Kompression, Pictet . . .	109,8	17,9	- 28,9	46,8	5150	1510	71 000
do. do.	155,2	21,0	- 18,8	39,8	6200	2160	86 000
do. do.	123,9	35,5	- 18,8	54,3	6730	1770	96 000
do. do.	175,0	22,1	- 15,8	37,9	6640	2420	92 000
Kompression, Linde . . .	216,9	21,7	- 12,5	34,2	7420	2860	98 000

Die Unterschiede der durch das Produkt $W_s (t_o - t_u)$ ausgedrückten Gesamtleistungen sind hiernach bei den verschiedenen Maschinenarten nicht grösser als bei verschiedenen Maschinen einer und derselben Art, und lassen sich durch die verschiedenen Verhältnisse die möglichen Fehler in den Beobachtungen und Annahmen sehr wohl erklären. Die jetzt ziemlich allgemein verbreitete Ansicht, dass die Absorptionsmaschinen im Wettkampfe mit den Kompressionsmaschinen unterliegen müssten, wird mithin erst dann gerechtfertigt sein, wenn festgestellt ist, dass die ersteren

für ihren regelrechten Betrieb so weite Temperaturgrenzen, wie sie z. B. bei den besprochenen Versuchen vorhanden waren, nothwendig erfordern. Ebenso ist auch aus den Produkten $W_p(t_o - t_u)$ ein merkbarer Unterschied in der Leistung der mit Ammoniak und der mit Pictet'scher (aus Kohlensäure und wasserfreier schwefliger Säure bestehender) Flüssigkeit arbeitenden Maschinen nicht zu erkennen.“

Dieser Schlussbemerkung, soweit sie die Absorptionsmaschinen betrifft, dürfte unsererseits hinzuzufügen sein, dass bei den jetzt existirenden Maschinen dieses Systems immer der Uebelstand bestehen bleibt, dass während der Austreibung der gespannten Ammoniakdämpfe im Ammoniakessel das dreifache Quantum Wasser mit erhitzt werden muss, welches dann während des Kreislaufes in der Maschine wieder durch Kühlwasser abgekühlt wird. Bei Habermann's Maschinen stellt sich dies günstiger.

Es herrscht im Allgemeinen noch immer eine gewisse Verwirrung bei Beurtheilung des Effekts von Kältemaschinen, insofern bei den angestellten Versuchen nicht gleiche Verhältnisse zu Grunde gelegt werden. Selbst Prof. Schröter hat dies nicht bei seinen Versuchen berücksichtigt. Er hat Maschinen untersucht, welche Eis fabriciren, andere, welche mittels Salzwasserröhren Keller kühlen, und solche, welche Süswasser kühlen. Da aber im ersteren Falle erst Uebertragung der niedrigen Temperatur an das zu gefrierende Wasser durch Vermittelung der Salzlösung geschieht, so liegen wesentliche Leistungsverluste hierbei in der Natur der Sache. Im letzten Falle, bei welchem das zu kühlende Süswasser direkt von den Verdampfungsröhren gekühlt wird, liegen die Verhältnisse wiederum ausserordentlich günstig, weil die Verdampfung der Kälteflüssigkeit bei verhältnissmässig hoher Temperatur vor sich gehen kann, wodurch die Leistung erheblich zunimmt. Man sollte daher bei allen solchen Versuchen stets die dem Salzwasser entzogene Wärme bei den Vergleichsberechnungen zu Grunde legen, um auf reasonable Zahlen zu kommen. Ich habe das bei den Schröter'schen Versuchen durch die letzte Kolumne Seite 349 einigermaassen auszugleichen gesucht und kann nur von neuem darauf aufmerksam machen, dass alle Versuchsergebnisse hierauf geprüft werden sollten.

Dass ferner die Temperatur des eintretenden und abfliessenden Kühlwassers, sowie die Menge desselben, auf den Kraftgebrauch und die Leistung von wesentlichem Einfluss sind, habe ich wiederholt hervorgehoben; es muss auch immer wieder darauf aufmerksam gemacht werden, dass hierin Uebereinstimmung geschaffen werde, wenn man brauchbare Vergleichsergebnisse erlangen will. Meine Berechnungen auf Seite 350 ff. liefern Beweise genug hierfür.

Wohl ist es möglich, die Kühlwassermenge zu verringern und dasselbe dafür wärmer abfliessen zu lassen, damit es dieselbe Wärmemenge abführe. Die Kälteflüssigkeit muss aber dann zu höherer Spannung, der

höheren Wärme entsprechend, komprimirt werden, wodurch ein grösserer Kraftaufwand nöthig wird.

Nehmen wir als Beispiel an, dass eine Ammoniak-Kompressionsmaschine 10000 Liter Kühlwasser von 10° C. gebrauche, das mit 20° abfließt, so haben wir 100000 abgeführte Wärmeeinheiten, während die Spannung im Kompressor, der Temperatur von 25° ungefähr entsprechend, 9,9 Atmosphären sein mag. Falls nun die Kühlwassermenge auf die Hälfte reducirt wird, so müssen diese 5000 Liter Wasser von 10° C. bis auf 30° C. erwärmt werden, damit sie gleichfalls 100000 W.E. abführen. Dann entspricht aber der etwa im Kompressor vorhandenen Temperatur von 35° C. eine Spannung von 13,08 Atmosphären. Da nun die Spannung der Saugseite in beiden Fällen gleich bleibt (etwa 2 Atmosphären), so muss sich der erforderliche Kraftaufwand steigern im Verhältniss von ungefähr 7,8:11,08.

Wie man sieht, kann man bis zu einem gewissen Grade Wasser ersparen auf Kosten von Kohlengebrauch und umgekehrt. Daraus erklären sich die verschiedenartigsten Resultate bei gleich grossen Maschinen derselben Art. Ich empfehle überall die in Linde'schen Prospekten angegebenen Kühlwassermengen zu Grunde zu legen und dann die Versuche zu machen, um Vergleichszahlen zu erlangen. Es wird sich dann auch erst klar herausstellen, dass bei den mit Pictet-Flüssigkeit arbeitenden Maschinen ein mässiger Kraftgebrauch wohl wahrscheinlich ist, dass aber wegen der stattfindenden Absorption der Kohlensäure durch die schweflige Säure der Kühlwassergebrauch grösser wird, als bei anderen Kompressionsmaschinen. An einem und dem anderen zu sparen, ist eine Unmöglichkeit.

Ein ähnliches Resultat ergiebt sich auch bei Verwendung von Brieselungskondensatoren gegenüber Tauchkondensatoren.

Es sind dann von dem Polytechnischen Verein in München weitere Vergleichsversuche gemacht worden, ebenfalls unter Leitung des Prof. M. Schröter, der darüber ausführlich berichtet.*) Dabei wurden eine Linde- und eine Pictet-Maschine gleicher Grösse und unter genau gleichen Bedingungen geprüft. Die Resultate sind in den beiden folgenden Tabellen zusammengestellt und leicht zu erkennen. Dabei ist als normale Fläche eine Refrigeratoroberfläche von 66 qm bei Abkühlung von -2 auf -5° und mindestens 50000 W.E. Kälteleistung bezeichnet. Bei den Versuchen waren bei Linde die äusseren Oberflächen der beiden Refrigeratoren 70,8 und 71,1 qm, des Kondensators 67,3 qm; bei Pictet 74,39 und 74,39 resp. 66,8 qm. Als einfache Fläche ist in den Tabellen stets der erste Refrigerator gemeint, als doppelte Fläche beide.

Schröter's
zweiter
Versuch
an Kom-
pressions-
maschinen.

*) Vergleichende Versuche an Kältemaschinen von M. Schröter, 1890 bei R. Oldenbourg.

Mittel aus Einlauf- und Auslauftemperaturen der Salzlösung t_s ° C.	+4,44	-3,52	-11,45	-10,37	-3,52	+4,70	-3,52	-19,40	+4,47
Mittlere Auslauftemperatur im Kondensator t_k ° C.	19,76	19,63	19,84	19,72	35,33	19,68	19,62	19,81	19,39
Theoretisches Leistungsverhältniss $\frac{AL}{W}$	0,0936	0,126	0,162	0,199	0,186	0,0843	0,118	0,190	0,0921
Dieselben Werthe für die normalen Salzlösungstemperaturen und die Kondensatortemperaturen 19,5 u. 35 $\left(\frac{AL}{W}\right)_n$	+4,5 19,5	-3,5 19,5	-11,5 19,5	-19,5 19,5	-3,5 35,5	+4,5 19,5	-3,5 19,5	-19,5 19,5	+4,5 19,5
Korrektionsfaktor für das Leistungsverhältniss $\left(\frac{AL}{W}\right)_n : \frac{AL}{W}$	0,987	1,000	0,994	1,000	0,995	1,001	0,992	0,995	1,003
Auf normale Temperaturen umgerechnetes Leistungsverhältniss { Calorien Kälte pro 2 kg Dampf	420,1	312,1	225,1	163,3	201,7	488,6	350,6	181,1	437,2
verhältniss { " " " 1 P. S. indicirt	4252	3182	2322	1711	2012	4913	3496	1852	4787

Maschine Pictet.

	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
Mittel aus Einlauf- und Auslauftemperaturen der Salzlösung t_s ° C.	+4,59	-3,47	-11,41	-19,44	-3,52	+4,72	-3,50	-19,45	+4,53
Mittlere Auslauftemperatur im Kondensator t_k ° C.	19,72	19,70	19,59	19,51	35,18	19,65	19,60	19,92	19,59
Theoretisches Leistungsverhältniss $\frac{AL}{W}$	0,0929	0,126	0,161	0,199	0,186	0,0841	0,118	0,191	0,0926
Korrektionsfaktor für das Leistungsverhältniss $\left(\frac{AL}{W}\right)_n : \frac{AL}{W}$	0,995	1,00	1,00	1,00	0,995	1,003	0,992	0,989	0,998
Auf normale Temperaturen umgerechnetes Leistungsverhältniss { Calorien Kälte pro 1 kg Dampf	299,6	219,0	154,6	90,0	149,3	318,2	225,7	104,3	312,0
verhältniss { " " " 1 P. S. indicirt	3489	2556	1852	1075	1693	3949	2760	1251	4025

		Einfache Fläche				
Temperaturgrenzen . . .		+6 +3	-2 -5	-10 -13	-18 -21	-2 -5 Kond. 35°
Verdampferleistung Cal. pro Stunde		77315	55735	37250	21995	48135
Calorien Kälte pro Stunde und 1 kg Dampf	Linde	420,8	313,7	226,6	167,2	202,3
	Pictet	299,4	218,7	154,2	86,8	149,2
Calorien Kälte pro Stunde und 1 indicirte Pferde- stärke d. Dampfms.	Linde	4259	3198	2337	1752	2018
	Pictet	3487	2552	1847	1037	1692

		Doppelte Fläche				
Temperaturgrenzen . . .		+6 +3	-2 -5	-10 -13	-18 -21	-2 -5 Kond. 35°
Verdampferleistung Cal. pro Stunde		86445	61045	40510	24975	52710
Calorien Kälte pro Stunde und 1 kg Dampf	Linde	490,6	352,7	248,2	184,3	227,5
	Pictet	317,7	225,3	159,5	101,7	153,7
Calorien Kälte pro Stunde und 1 indicirte Pferde- stärke d. Dampfms.	Linde	4933	3517	2559	1885	2270
	Pictet	3843	2755	1911	1219	1743

Legt man den Versuch 2, Abkühlung von -2° bis -5° , als normal für Eisfabrikation zu Grunde, und rechnet man pro Kilogramm Eis, wie Zeuner in seiner theoretischen Entwicklung thut, 100 W.E. Aufwand, so würden die bezeichneten 3983 W.E. der Tabelle 39,83 kg Eis pro Pferdekraft darstellen, d. h. $\frac{39,83}{47} = 84,75$ Proc. der Zeuner'schen theoretisch vollkommenen Kaltdampfmaschine. Aber auch die beiden anderen Maschinen haben es auf die hohe Zahl 70,3 Proc. resp. 66,8 Proc. der theoretischen Leistung gebracht.

Kraftverbrauch und Arbeitsleistung.

Leistungsversuch einer Ammoniakmaschine (Zeitschrift für Kälteindustrie, Heft 2, 1898).

Im Generator circuliren 69850 Liter Salzwasser pro Stunde. — Eintritt $-2,60^{\circ}$ C., Austritt $-4,97^{\circ}$ C. Abkühlung daher $2,37^{\circ}$ C. — Specifische Wärme der Salzlösung von 23° Beaumé = 0,86.

Kälteleistung $69850 \times 0,86 \times 2,37 = 142368$ W.E. pro Stunde.

Inhalt des Generators 33200 Liter. — Stündliche Erwärmung von aussen 714 W.E. — Wirkliche Kälteleistung $142368 - 714 = 141654$ W.E.

Kraftverbrauch 46,1 PSe, Dampfverbrauch 7,51 kg pro Stunde und
 P*Si*. — Kohlenverbrauch 34,62 kg; pro 1 P*Se* $\frac{142368}{46,1} = 3088$ W.E. Leistung einer Ammoniakmaschine.

pro 1 kg Kohle $\frac{142368}{34,62} = 4100$ W.E. Kühlleistung.

P*Se* = effektive }
 P*Si* = indicirte } Pferdestärke.

Vergleichsrechnung zwischen NH₃, SO₂ und CO₂-Maschinen, theoretisch nach Lorenz an Maschinen von 60000 W.E. Kühlleistung.

	Kühlwasser-		P <i>Si</i>	Verdampfer °C.
	Eintritt °C.	Austritt °C.		
NH ₃ -Maschine	+12	+20,44	11,76	-10
do.	+12	+20,21	8,97	-3
SO ₂ -Maschine	+12	+20,44	11,76	-10
do.	+12	+20,21	8,97	-3
CO ₂ -Maschine	+12	+20,70	15,04	-10
do.	+12	+20,41	11,47	-3

Tabelle über Arbeitsleistung (100000 W.E. theoretische Kühlleistung).

Temperatur vor dem Regulirventil	+20°		
Kälte Träger	NH ₃	SO ₂	CO ₂
Totale indicirte Arbeit am Kompressor in Pferdestärken	21,0	21,5	27,6
Reibungsarbeit des Kompressors und der Betriebsmaschine in Pferdestärken	3,2	3,2	4,1
Antriebsarbeit der Rührwerke in Pferdestärken	1,0	1,0	1,0
Arbeit der Kühlwasserpumpen in Pferdestärken	1,5	1,5	1,5
Arbeit der Salzwasserpumpen in Pferdestärken	8,0	8,0	8,0
Betriebsarbeit der Transmission in Pferdestärken	2,0	2,0	2,0
Effektive totale Betriebsarbeit in Pferdestärken	36,7	37,2	43,7
Kälteverlust durch die Rührwerksarbeit W.E.	636	636	636
Kälteverlust durch die Salzwasserpumpen W.E.	5088	5088	5088
Kälteverlust durch die Einstrahlung W.E.	4500	4500	4500
Restliche nutzbare Kälteleistung W.E.	79776	79776	79776
Kälteleistung pro 1 effektive Pferdestärke W.E.	2174	2144	1825
Kälteleistung pro 1 effektive Pferdestärke der Kompressorarbeit	3798	3710	2944

Für Verluste sind 10 bis 20 Proc. der Betriebsarbeit zuzuschlagen.

Vergleichsversuche zwischen NH₃ und CO₂-Maschinen aus der Versuchsanstalt des Polytechnischen Vereins in München bei Anfangs-
 Vergleichsversuche.

Kohlensäuremaschine.

Versuchsreihe	I. $t_2 \approx 21,5^\circ \text{C.}$										II. $t_2 \approx 33^\circ \text{C.}$					III.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15				
Dampfmaschine und Kompressor	Min.-Umdr.	43,29	43,51	43,31	43,48	43,31	43,13	43,26	43,49	43,64	43,67	41,51				
	Arbeit der Dampfmaschine PSI	19,33	19,48	19,65	19,77	26,11	26,53	26,68	26,88	26,96	27,31	25,50	28,65			
Verdampfer	Arbeit des Kompressors PSI	—	17,45	—	—	—	—	23,59	—	—	—	—				
	Temperatur der Dämpfe nach der Kompression $^\circ \text{C.}$	50,8	49,17	49,8	50,9	62,2	62,7	66,0	63,7	61,4	62,4	70,1	58,9			
Kondensator	Temperatur der abgekühlten Salzlösung $^\circ \text{C.}$	—4,56	—4,83	—4,89	—4,90	—4,96	—5,70	—5,41	—5,82	—6,72	—6,23	—6,00	—6,01			
	Dampfüberdruck kg/qcm	28,55	28,50	28,54	28,60	28,90	28,71	29,00	28,00	28,49	28,89	28,35	30,40			
Kühler	entsprechende Sättigungstemperatur $t_2 \text{ } ^\circ \text{C.}$	—8,00	—8,08	—8,01	—7,94	—7,61	—7,80	—7,48	—7,72	—8,12	—7,65	—7,08	—5,89			
	Verdampferleistung W. E. pro Stunde	74080	61910	58910	56696	70500	57360	54720	45150	39830	30290	27320	20000			
Verdampferleistung pro PSI pro Stunde der Dampfmaschine W. E.	Dampfüberdruck kg/qcm	61,1	61,6	62,5	62,9	81,7	82,5	83,5	83,0	83,5	84,0	83,5	98,0			
	entsprechende Sättigungstemperatur $t_2 \text{ } ^\circ \text{C.}$	20,91	21,26	21,92	22,23	—	—	—	—	—	—	—	—			
Verdampferleistung pro PSI pro Stunde der Dampfmaschine W. E.	Kondensatorleistung W. E. pro Stunde	54660	73300	66270	66990	23940	64040	34690	28890	25570	34680	34820	29510			
	Kühlerleistung W. E. pro Stunde	30420	2340	4880	—	47350	8140	25690	26950	21850	1990	—	—			
Verdampferleistung pro PSI pro Stunde der Dampfmaschine W. E.	Temperatur der aus dem Kondensator austretenden Kohlensäure $t_2 \text{ } ^\circ \text{C.}$	19,74	11,07	15,49	16,81	33,50	17,91	33,71	34,77	35,46	34,37	33,53	30,23			
	Temperatur der Kohlensäure vor dem Reguliventil $t_1 \text{ } ^\circ \text{C.}$	—7,97	10,00	14,51	16,81	—8,29	11,67	15,69	25,49	28,80	31,81	33,53	39,23			
Verdampferleistung pro PSI pro Stunde der Dampfmaschine W. E.	Reguliventil $t_1 \text{ } ^\circ \text{C.}$	3832	3178	2998	2867	2700	2162	2051	1680	1477	1109	1071	698			

Linde's Versuche an einer Kohlensäuremaschine.

Ammoniakmaschine.

Versuchsreihe	I. $t_2 \approx 21,5^\circ \text{C.}$			II. $t_2 \approx 35^\circ \text{C.}$				Leistung einer Ammoniakkühlmaschine.	
Versuchsnummer	13	14	15	16	17	18	19		
Dampfmaschine und Kompressor	Min.-Umdr.	43,22	43,38	43,16	42,29	42,51	42,53	42,34	
	Arbeit der Dampfmaschine PSI	17,31	17,42	17,22	22,97	23,63	23,12	23,21	
	Arbeit des Kompressors PSI	—	15,53	—	—	21,08	—	—	
	Temperatur der Dämpfe nach der Kompression $^\circ \text{C.}$	39,9	40,3	41,2	70,8	73,5	69,1	73,6	
Verdampfer	Temperatur der abgekühlten Salzlösung $^\circ \text{C.}$	-0,15	-5,97	-6,46	-4,94	-4,98	-4,82	-4,82	
	Dampfüberdruck kg/qcm	2,30	2,29	2,27	2,28	2,31	2,27	2,23	
	entsprechende Sättigungstemperatur t_1 $^\circ \text{C.}$	-7,16	-7,17	-7,38	-7,21	-7,00	-7,29	-7,58	
	Verdampferleistung W.E. pro Stunde	67460	63340	60410	60210	58940	54120	51920	
Kondensator	Dampfüberdruck kg/qcm	8,22	8,21	8,22	12,72	12,76	12,75	12,89	
	entsprechende Sättigungstemperatur t_2 $^\circ \text{C.}$	21,46	21,42	21,46	34,54	34,66	34,64	34,94	
	Kondensatorleistung W.E. pro Stunde	70690	72580	68520	66220	73820	67320	—	
Kühler	Kühlerleistung W.E. pro Stunde	6150	—	—	1490	—	—	—	
	Temperatur des aus dem Kondensator austretenden Ammoniaks t_3 $^\circ \text{C.}$	19,40	11,61	18,36	11,43	12,08	20,93	28,28	
	Temperatur des flüssigen Ammoniaks vor dem Regulirventil t_4 $^\circ \text{C.}$	-6,48	11,61	18,36	-6,99	12,08	20,93	28,28	
Verdampferleistung pro PSI und die der Dampfmaschine W.E.	3897	3636	3508	2622	2494	2341	2237		

Chlormethyl.

Methyläther.

Temperatur $^\circ \text{C.}$	Spec. Gewicht	Dampfspannung kg/qcm	Temperatur $^\circ \text{C.}$	Spec. Gewicht	Dampfspannung kg/qcm	Spannungen etc. von Methyläther und Chlormethyl.
-30	0,9985	0,775	-20		1,16	
0	0,9523	1,549	0	1,61	2,47	
+10	0,9346	3,575	+10		3,46	
+20	0,9154	4,950	+20		4,72	
+30	0,8960	6,695	+30		6,29	
latente Wärme r bei $0^\circ = 96,6.$			latente Wärme r bei $0^\circ = 130.$			
			Gefrierpunkt -21°C.			

temperaturen $t_2 = 21,5^\circ$ und 35° C. (Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Bd. 39, Seite 125) sind in vorstehenden zwei Tabellen enthalten.

Kritischer
Punkt.

Kritischer Punkt von NH_3 : $+131^\circ$ C. bei 113 Atmosphären, von SO_2 : $+156^\circ$ C. bei 78,9 Atmosphären, von CO_2 : $+31,25^\circ$ bei 74 Atmosphären.

Die Tabellen zeigen bei CO_2 -Maschinen den nachtheiligen Einfluss der tiefen Lage der kritischen Temperatur, aber den vortheilhaften Einfluss des Kühlers zwischen Kompressor und Kondensator, besonders bei hoher Kompressortemperatur.

Nach Lorenz ergibt die Rechnung:

	bei NH_3	SO_2	CO_2 -Masch.
Kälteleistung pro Psi bei $+20^\circ$ Kondensatortemperatur und gleicher Temperatur vor dem Regulirventil W.E.	4735	4975	3555
Kälteleistung pro Psi bei $+30^\circ$ Kondensatortemperatur und gleicher Temperatur vor dem Regulirventil W.E.	3585	3576	1830

Ausdehnung des flüssigen NH_3 , zu beachten bei Füllung der Bomben (specifisches Gewicht bei $0^\circ = 0,6341$), nach Andreef.

Temperatur	-10°	-5°	0	$+5^\circ$	$+10^\circ$	$+15^\circ$	$+20^\circ$
Volumen —	0,9805	0,9900	1,000	1,0105	1,0215	1,0360	1,0450

Grösse von
Konden-
satoren.

Tauchkondensator der Kältemaschine für NH_3 und SO_2 1200 W.E. pro Quadratmeter Oberfläche, Berieselungskondensator 800 W.E. pro Quadratmeter Oberfläche. Kondensator für CO_2 die Hälfte grösser. Verdampferoberfläche 10 Proc. grösser als die Tauchkondensatoren von NH_3 .

4. Fleisch-Kühlanlagen.

Fleischverbrauch pro Kopf in:

Berlin incl. Geflügel und Wild jährlich	80 kg
Augsburg excl.	60 "
Breslau "	45 "
Bremen "	60 "
Dresden "	70 "
Strassburg "	70 "
Wien "	65 "

Man rechnet pro Quadratmeter Grundfläche des Fleischkühlraum 100 bis 120 kg Fleisch zu hängen, Höhe des Raumes 2,5 bis 3,5 m. Fleisch verliert durch Trocknung in 8 Tagen 4 bis 5 Proc., an einem Tag 0,5 bis 1 Proc. seines Gewichts. — Man rechnet pro Stunde auf 1 kg Fleisch 1 W.E. zu entziehen, täglich 6 bis 12malige Lufterneuerung. Bei Berechnung des Kälteaufwandes ist anzunehmen, dass die Luft mit $+4^\circ$ gesättigtem Zustande abgesaugt wird, und die frisch von aussen zutretende Luft mit etwa 24° und 75 Proc. Feuchtigkeit eintritt. 1 kg Wasser verdampfen erfordert 615 W.E. (latente Wärme), demnach pro Gram

0,615 W.E. Die Menge ist aus nachstehender Tabelle festzustellen. Um die Luft selbst abzukühlen, ist abzuführen pro 1° C. und für 1 kg Luft die spezifische Wärme 0,2377. — 1 cbm Luft bei 0° und atmosphärischem Druck wiegt 1,293 kg, daher pro 1 cbm Luft um 1° C. Abkühlung = $0,2377 \times 1,293 = 0,31$ W.E. erforderlich — Verlust durch Oeffnen der Thüren 5 bis 8 Proc. — Ein Arbeiter entwickelt 130 W.E. pro Stunde, eine Gasflamme 900 W.E., eine elektrische Glühlampe 30 bis 40 W.E., eine Kerze 110 W.E.

Stetefeld (Zeitschrift für Kälteindustrie, Heft 11, 1897) giebt folgendes Beispiel:

Fleischkühlhalle von 2000 qm Grundfläche, 3,25 m Höhe = 6500 cbm Inhalt, kann 300 000 kg Fleisch aufnehmen. Die äussere Tages-temperatur sei + 25° C. — Die Kühlraumtemperatur betrage + 1 bis 4° C., die kalte Luft werde im gesättigten Zustande von der Kühlmaschine mit — 3° zugeführt, mit + 4° bei 75 Proc. Feuchtigkeitsgehalt abgesaugt. Das Fleisch sei in 40 Stunden von + 25° auf + 4° abzukühlen. Die spezifische Wärme sei 0,7. Dazu ist Abkühlung nöthig um

$$\frac{300\,000 \cdot 0,7}{40} (25 - 4) = 110\,000 \text{ W.E. pro Stunde,}$$

und es werden täglich eingebracht $\frac{300\,000 \cdot 24}{40} = 180\,000$ kg Fleisch. Angenommen Fleischkonsum von 0,7 kg pro Kopf und Tag (ist übrigens zu hoch, 0,3 genügt; freilich ist alles als Maximum anzusehen), so genügt der Kühlraum für $\frac{180\,000}{0,7} = 260\,000$ Einwohner, d. h. es ist zu rechnen auf 130 bis 200 Einwohner 1 qm Kühlhalle.

Ferner ist die Erwärmung abzuführen, die durch die Wärme, Boden und Decke hinzutritt. Sie ist nach den nachstehenden Angaben zu berechnen, hier wird sie zu 26 000 W.E. angenommen (sehr niedrig). Die Erneuerungsluft wird zu nur vierfach angenommen und auf 170 000 W.E. geschätzt. Endlich wird die circulirende Luft durch den Ventilator erwärmt, und zwar um 0,5 Proc. pro Cubikmeter also $0,5 \times 0,31$ (spezifische Wärme) = 0,155 W.E. Ferner 10 Proc. Verlust angenommen, ist die abzuführende Wärmemenge also $Q = 1,1$ ($110\,000 + 26\,000 + 17\,600 + 0,155$ Liter). Um gesättigte Luft von — 3° auf Luft von + 4° mit 75 Proc. Feuchtigkeitsgehalt abzukühlen, sind nach der Rechnung 2,63 W.E. pro Cubikmeter abzuführen.

Es wird daher in diesem Falle $Q = 1,1$ ($110\,000 + 17\,600 + 0,155$ Liter) = $\sim 170\,000$ W.E. gleich sein müssen der Arbeit der Kühlmaschine 2,63 W.E. pro Cubikmeter abzusaugen und zu kühlen 64 640 cbm Luft pro Stunde oder 10 maliger Luftwechsel. Aus Obigem folgt, dass pro 1000 Einwohner etwa 650 bis 1000 W.E. pro Stunde an Kälteleistung anzunehmen sind.

Verhältniss zwischen der Temperatur der Luft und deren Gehalt an Wasserdämpfen im Sättigungszustand.

Temperatur	Gewicht von 1000 cbm trockener Luft in Kilogramm	Gewicht der in 1000 cbm gesättigter Luft enthaltenen Wassermengen in Kilogramm	Druck des Wasserdampfes in Millimetern Quecksilber
— 20	1376,8	1,0	0,914
— 15	1350,2	1,6	1,394
— 14	1344,9	1,7	1,514
— 13	1339,8	1,8	1,643
— 12	1334,6	2,0	1,780
— 11	1329,5	2,1	1,933
— 10	1324,5	2,3	2,093
— 9	1319,5	2,5	2,273
— 8	1314,5	2,7	2,463
— 7	1309,5	2,9	2,668
— 6	1304,6	3,1	2,888
— 5	1300,0	3,4	3,123
— 4	1294,9	3,6	3,374
— 3	1290,1	3,9	3,643
— 2	1285,4	4,2	3,930
— 1	1280,6	4,5	4,236
0	1276,0	4,8	4,562
+ 1	1271,3	5,2	4,903
+ 2	1266,6	5,5	5,266
+ 3	1262,1	5,9	5,653
+ 4	1257,5	6,3	6,064
+ 5	1253,0	6,8	6,502
+ 6	1248,4	7,2	6,968
+ 7	1244,8	7,7	7,464
+ 8	1239,6	8,2	7,990
+ 9	1235,2	8,8	8,549
+ 10	1230,8	9,3	9,145
+ 11	1226,5	10,0	9,771
+ 12	1222,2	10,6	10,439
+ 13	1218,0	11,3	11,146
+ 14	1213,7	12,0	11,805
+ 15	1209,5	12,8	12,688
+ 16	1205,3	13,5	13,527
+ 17	1201,2	14,4	14,415
+ 18	1197,0	15,3	15,354
+ 19	1192,9	16,2	16,367
+ 20	1188,9	17,2	17,393
+ 21	1184,8	18,2	18,500
+ 22	1180,8	19,3	19,659
+ 23	1176,8	20,4	20,898
+ 24	1172,9	21,6	22,197
+ 25	1168,9	22,9	23,566
+ 26	1165,0	24,2	25,007
+ 27	1161,1	25,6	26,526
+ 28	1157,3	27,0	28,124
+ 29	1153,5	28,6	29,807
+ 30	1149,6	30,2	31,575

Die Zahlen gelten für den Barometerstand 750 mm. Bei anderem Barometerstande sind sie entsprechend zu reduciren.

Betriebskosten pro Quadratmeter Kühlraumfläche jährlich \sim 50 Mark einschliesslich Zinsen und Amortisation etc.

Bei Schiffskühlung pflegen pro Tonne Fleisch im Kühlraum 10 W.E. pro Stunde gebraucht zu werden. — Es kann im Kühlraum gelagert werden 250 bis 350 kg pro Cubikmeter.

Zur Luftbewegung mittels Ventilator gebrauchen 1000 cbm Luft bei 0,6 m Geschwindigkeit pro Minute 0,2 PS, dabei Temperatursteigerung 0,3 bis 0,4°.

Wärmedurchlässigkeit pro 1° C. und 1 qm Decke von $\frac{1}{2}$ Stein Stärke mit 0,5 m Beschüttung 0,3 W.E., Wand von 3 Stein Stärke mit 0,1 m Isolirschrift 0,6 W.E., Fussboden auf 0,5 m Ascheschicht 0,7 W.E., für 1 qm einfaches Fenster 5 W.E. — Doppelfenster 2,5 W.E., für 1 qm Doppelthüren 2 W.E. Wärme-
durchlässi-
keit.

Den Fussboden legt man auf 0,2 m Betonschicht, um ihn gegen Feuchtigkeit zu schützen, darauf eine Schicht aus Koks oder Holzasche, 0,4 bis 0,5 m stark, und dann Asphaltenschicht. — Die Wände werden mit 0,12 bis 0,14 m Isolirschrift versehen, Holzwände in doppelter Spundwand innen und aussen mit Isolirschrift von 0,14 m Dicke und Isolirpappe. Anzunehmen pro Quadratmeter und 1° Temperaturdifferenz pro Stunde 1 W.E. + 50 Proc. Sicherheitszuschlag.

Wärmedurchlässigkeit von 1 qm bei 1 m Schichtendicke und 1° Temperaturdifferenz pro Stunde Mauerwerk 0,7, Gyps 0,4, Koks 0,14, Kieselguhr 0,136, Blätterholzkohle 0,118, Schlackenwolle 0,101, Kreidepulver 0,09, Kork 0,08, Holzasche 0,06 W.E.

5. Brauerei-Kühlanlagen.

Auf den Quadratmeter Bodenfläche der Lagerkeller lagern 6 bis 10 Hektoliter Bier. Kälteaufwand pro Quadratmeter Grundfläche 600 W.E., pro Quadratmeter Gärkeller 1200 W.E. in 24 Stunden. (Siehe Seite 390.) Spezifische Wärme des Bieres kann zu 1 angenommen werden. Zur Gärung sind nöthig pro Liter Würze 18 W.E. in 24 Stunden, z. B. für 100 000 Liter Würze im Gährraum und 8 Tage (à 24 Stunden) Gährzeit sind: Brauerei-
kühlung

$$\frac{100\,000}{8} \cdot 18 = 225\,000 \text{ W.E. in 24 Stunden}$$

erforderlich.

Zur Würzekühlung auf dem Bierkühlapparat pro Liter 16 W.E., bei Abkühlung von +20° bis +4° C.

Zu beiden wird Süsswasser von $\frac{1}{2}$ ° C. Temperatur verwendet.

Auf den Quadratmeter Kellerfläche 2,3 bis 3,0 m Kühlröhren von 50 mm l. Weite = 0,3 bis 0,5 qm Oberfläche. Rohrsystemlänge höchstens

250 m. Geschwindigkeit der Salzsoole in den Röhren 0,3 bis 0,4 m pro Sekunde, in den Hauptsträngen bis 1 m pro Sekunde.

Bierkühlapparate übertragen pro Quadratmeter Oberfläche und 1° Temperaturdifferenz 300 bis 400 W.E. Die Grösse der erforderlichen Maschine muss nach vorstehenden Angaben berechnet werden. Lagerkellertemperatur $+ \frac{1}{2}^{\circ}$, Gärkellertemperatur $+ 5$ bis 6° .

Ueberschläglic genügt für 1 Hektoliter Lagerbier jährlicher Produktion Kälteerzeugung von 2 bis 2,5 W.E. pro Stunde bei -6 bis -8° C. Verdampfertemperatur. — Wenn Eis nebenher erzeugt werden soll, entsprechend mehr.

Süsswasser-
kühler.

In Süsswasserkühlern kann die Wärmetransmission der Salzwasserkühlröhren an das zu kühlende Süsswasser zu 1200 W.E. pro Quadratmeter und Stunde angenommen werden.

6. Eiserzeugung.

Eis-
erzeugung.

Für 1 kg Eis incl. Schmelzverlust beim Ausschütten ~ 120 W.E.; 1 qm Zellenoberfläche transmittirt pro Stunde ~ 100 W.E. und liefert $\frac{100}{120} = 0,83$ kg Eis. Mit 1 PSe werden 25 bis 30 kg Eis erzeugt.

In Destillationsapparaten zur Herstellung des destillirten Wassers werden mit 1 kg Kohle ~ 25 kg Wasser destillirt.

Betriebskosten incl. Zinsen, Amortisation, Abschreibung für einen Centner Eis, je nach der Grösse der Maschine, in den Keller gelegt 25 bis 50 Pfennige.

Eisbahnen.

Künstliche Eisbahnen erfordern etwa 300 W.E. für 1 qm Grundfläche stündlich.

Leistungen von Linde's Eismaschinen (für gemässigttes Klima).

Eis-
erzeugung.

Modell Nummer . . .	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Eisproduktion*) pro Stunde in Kilogramm	25	50	100	250	500	1000	1500	2200
Arbeitsverbrauch**) Pferdestärken	2,5	4	6,5	13	25	45	65	97
Erforderl. Kondensationswasser**) pro Stde. in hl	3	10	20	45	90	165	240	360

*) Der Eisproduktion ist eine Gefrierwassertemperatur von 10° C. zu Grunde gelegt. Bei wärmerem Gefrierwasser reducirt sich die Leistung für jeden Grad um 1 Proc.

**) Der Arbeitsverbrauch und das Kondensationswasser sind für eine Temperatur des Kondensationswassers von 10° C. angegeben. Bei wärmerem Wasser erhöht sich für je 1° C. beides um 4 Proc. Normale Tauchercondensatoren vorausgesetzt.

Zur Füllung nöthig:

für Modell Nummer . .	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
flüssiges Ammoniak . kg	5	10	20	50	100	200	300	400
flüssige schwefl. Säure kg	12	25	50	125	250	500	750	1000
flüssige Kohlensäure kg	8	16	32	80	160	325	500	650

Ausgeführte Anlagen.

Ich will nachstehend Beschreibungen und Abbildungen einer Anzahl ausgeführter Kälteerzeugungsanlagen den Lesern vorführen und Resultate daran anreihen, soweit es mir möglich war, solche zu erlangen. Ausgeführte Anlagen.

In Deutschland war es die Brauerei von Gabriel Sedlmayr in München, die im Jahre 1875 zuerst eine Kältemaschine aufstellte, welche zur direkten Kühlung von Würze in den Kühlapparaten und den Gährbottichen diente, während bis dahin die Maschinen nur zur Eiszerzeugung benutzt wurden. Dieser Ersatz des Manipulationseises in Brauereien durch Kältemaschinen hat sich als ein ausserordentlicher Vortheil im Betriebe erwiesen, sowohl in Bezug auf Oekonomie desselben, wie auf Zuverlässigkeit in Erhaltung gleichmässiger Temperatur. Im Allgemeinen stellen sich die Kosten auf die Hälfte und darunter. Verfasser machte z. B. eine Einrichtung in einer Brauerei, welche bis dahin jährlich 16 000 Mark für Eis ausgegeben hatte, ungerechnet die erheblichen Kosten für Transport des Eises in der Brauerei. Die bisherigen Eisräume finden Verwendung zu Gähr- und Lagerräumen. Die gesammten Kosten der betreffenden Kältemaschineneinrichtung beliefen sich auf rund 70 000 Mark. Da der Neubau von Kellern in der gewonnenen Grösse wohl ebensoviel gekostet haben würde, wobei noch Eisbeschaffungskosten für die vergrösserte Kellerei hinzugekommen wären, so sollten die Beschaffungskosten der Kälteeinrichtung eigentlich gar nicht zur Berechnung gelangen. Indessen stellen wir gegenüber:

Zinsen und Amortisation von 70000 Mark	7000 Mark
Ein Arbeiter zur Beaufsichtigung der Maschine	1000 "
Kohlen pro Tag 900 kg à 1,30 Mark	4200 "
Ammoniak und Schmiermaterial	500 "
	12700 Mark

Im Jahre 1876 wurde bei A. Dreher in Triest von Linde, der auch die erwähnte Sedlmayr'sche Einrichtung gemacht hatte, eine Gährkellerkühlung mittels Ventilation eingerichtet, der dann im Jahre 1880

in Rotterdam in Heineken's Brauerei Kühlung der Gährkeller mittels Oberflächenkühlung durch Röhrensysteme folgte. Diese Einrichtung ist allgemein zur Einführung gelangt, und ist dann 1881 zuerst für Lagerkellerkühlung in Dortmund benutzt worden. In gleicher Weise ist man in Frankreich und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika vorgegangen, und schnell fanden sich die am Schlusse des vorigen Kapitels erwähnten zahlreichen anderweitigen Anwendungen.

Ich beginne mit einigen mit Linde'scher Ammoniakmaschine mit Kompressionspumpe versehenen Anlagen, von denen die ersten auch historischen Werth haben.

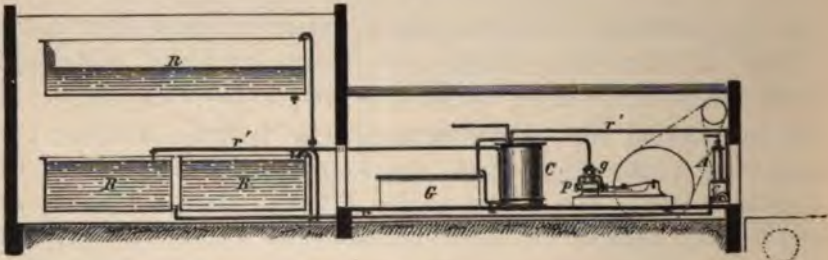


Fig. 297.

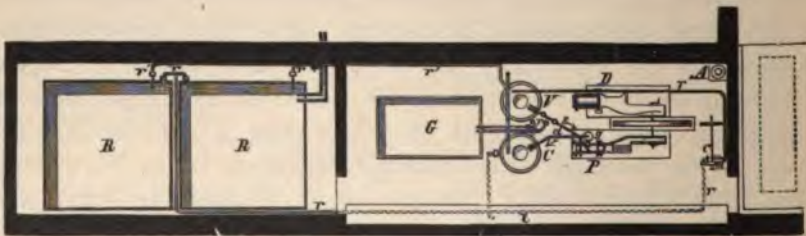


Fig. 298.

1. Die Kälteerzeugungsanlage in der Brauerei der Herren Gebr. Dietrich in Düsseldorf.

(S. Karl Heimpel, Zeitschrift für das ges. Bauwesen. 1878. Nr. 12.)

Ich beginne mit derjenigen der Linde'schen Anlagen, die zur Zeit im intensivsten Betriebe steht. Es wird die dort aufgestellte Maschine (alte Nummer IV des Prospektes der Maschinenfabrik Augsburg) benutzt:

1. zur Abkühlung von Wasser auf $1\frac{1}{2}$ bis 2° C. zum Zwecke
 - a) der Abkühlung der Bierwürze in den bekannten „Bierkühlern“,
 - b) der Erhaltung der erforderlichen Temperatur in den Gährbottichen;
2. zur Eisgewinnung.

Durch Fig. 297 und 298 ist diese Kälteerzeugungsanlage in Aufriss Grundriss dargestellt. Die ungefähr 10 pferdige Dampfmaschine *D* an gleicher Kurbelwelle angreifend, die Ammoniakpumpe *P* der schine. Durch das Saugrohr *s* werden die Ammoniakdämpfe aus Verdampfer *V* in die Pumpe geführt und mittels dieser durch das rohr *d* in den Kondensator *C* gepresst. In die Druckleitung ist ein Sammelgefäss *g* eingeschaltet, in welchem sich ebenfalls mitene fremde Flüssigkeiten, z. B. Schmiermaterialien, absetzen können.

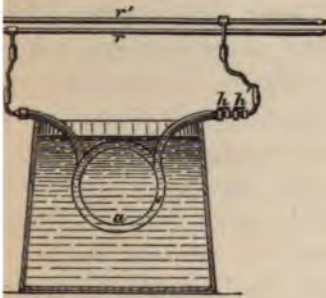


Fig. 299.



Fig. 300.

hen Kondensator und Verdampfer befindet sich das Regulirventil *r*, welches das im Kondensator verflüssigte Ammoniak in den Verfer strömt.

Der Maschine ist aussernoch ein Dampfdestillaapparat *A* beigegeben, as zur Füllung der Ma e nothwendige Ammo aus Salmiakgeist abzu liren hat.

Zum Zwecke der Eis- sation ist ein Eisgenera- t aufgestellt, und zwar

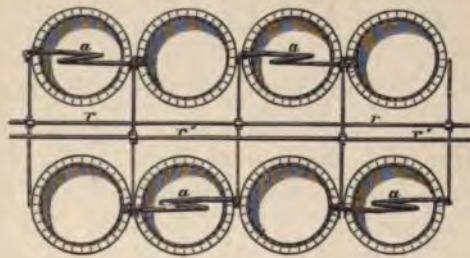


Fig. 301.

en in diesem Falle provisorisch die bereits von einer ausser Be- stehenden Carré'schen Maschine vorhandenen Blechgefässe benutzt. abzukühlende Wasser wird durch die Rohrleitung *rr* abwechelnd Reservoirs *RR* entnommen und durch die Centrifugalpumpe *c* n Verdampfer der Kühlmaschine geschafft; das Wasser giebt, in- es um die Rohrspiralen des Verdampfers circulirt, seine Wärme id tritt durch die Rohrleitung *r'r'* wieder in die Reservoirs *RR* zu-

Ist dasselbe durch mehrmalige Circulation genügend abgekühlt, so es auf demselben Wege durch das Rohr *r''* in ein oberes Reservoir *R'*

geschafft und kann von dort aus seiner Bestimmung zugeführt werden. In vorliegender Ausführung haben die unteren Reservoirs einen Fassungsraum von 250 Hektoliter, das obere von 500 Hektoliter.

Das zur Kondensation der Ammoniakdämpfe im Kondensator nöthige Kühlwasser findet in dieser Anlage keine weitere Verwendung mehr, sondern wird durch den Kanal *l* in das Freie geführt.

Das im oberen Reservoir aufgespeicherte kalte Wasser wird nun nach Bedarf einerseits zur Abkühlung der Würze benutzt, und hat es zu diesem Zwecke einen gewöhnlichen Prick-Neubecker'schen Bierkühler zu passiren. Da das wieder erwärmte Wasser dem unteren Reservoir zugeführt wird, so genügt die Druckdifferenz zwischen diesen beiden Reservoirs, um ohne Circulationspumpe die nöthige Wassergeschwindigkeit zu erhalten. Im Bierkühler findet zunächst eine Vorkühlung bis auf 13 bis 14° R. durch Brunnenwasser statt, sodann wird die Würze durch gekühltes Wasser auf die Anstelltemperatur von ungefähr $4\frac{1}{2}$ ° R. gebracht. Das gekühlte Wasser wird in diesem Apparate sehr vollständig ausgenutzt, indem es mit ungefähr 11° R. zur Kühlmaschine zurückströmt.

Ein anderer Theil des kalten Wassers wird in den Gärkeller geleitet und hat in eigens zu diesem Zwecke konstruirten Schwimmern die Würze in den Gärbottichen abzukühlen, also die bis jetzt gebräuchlichen Eisschwimmer zu ersetzen. Diese Schwimmer, nach Angabe des Herrn C. Dieterich ausgeführt, eben so einfach wie zweckmässig konstruirt, sind durch Fig. 299, 300, 301 dargestellt. Ein 3 zölliges Schmiedeeisenrohr *a* ist in einem Kreise von ungefähr 65—70 cm gebogen und endigt einerseits in ein $\frac{3}{4}$ zölliges schmiedeeisernes Röhrchen, das durch ein Stück Gummischlauch und durch die Röhrchen *mm* die Verbindung mit dem Kaltwassereinströmröhr *r* herstellt. Das andere Ende des gebogenen Rohres *a* ist durch einen Hahn *h* (Fig. 300) verschlossen, dessen Kücken einen 1,5 mm hohen horizontalen Schlitz besitzt, also sehr feine Regulirung des austretenden Wassers gestattet. Mit diesem Wechsel ist ein Dreiweghahn *h'* verbunden, der durch entsprechende Stellung des Kücken das Wasser aus der Oeffnung *o* austreten und dadurch die Quantität des durch den Schwimmer strömenden Wassers beurtheilen lässt. Eine Holländerverbindung mit Schmiedeeisen-Röhrchen und Gummischlauch stellt wie für das eintretende Wasser die Verbindung mit dem Rücklaufrohr *r'* her, das das ausgenutzte Wasser zur abermaligen Abkühlung dem Reservoir *B* zuführt. Die Druckdifferenz der beiden Reservoirs genügt auch hier vollständig, um die nöthige Circulation zu erhalten. Die nutzbare Kühlfläche eines solchen Schwimmers ergibt sich bei vorstehenden Dimensionen zu ungefähr 0,9—1 qm, und ermöglicht diese bedeutende Kühlfläche eine sehr vollkommene Ausnutzung des Wassers, das mit ungefähr 6° R. der Kühlmaschine wieder zufließt.

Der Preis eines derartigen Schwimmers stellt sich ausserordentlich niedrig*) und dürfte dieser billige Preis, die leichte Handhabung und Regulirung des Apparates, sowie die einfache Konstruktion und leichte äussere Reinigung denselben als äusserst zweckmässig erscheinen lassen.

Die mit dieser Kälteerzeugungsanlage bisher gemachten Erfahrungen können als sehr günstige bezeichnet werden. Die Maschine wurde Ende Juli 1887 in Betrieb gesetzt und Tag und Nacht ohne wesentliche Störungen im Betriebe erhalten. Die gesammte Menge Würze, die sie hierbei in 24 Stunden zu kühlen hatte, betrug im Maximum 260 Hektoliter, im Minimum 130 Hektoliter; ausserdem lieferte sie noch für 50 in kontinuierlichem Betriebe befindliche Schwimmer, denen in neuerer Zeit weitere 100 beigelegt wurden, das kalte Wasser; die noch übrige disponible Zeit wurde sie zur Eisfabrikation verwendet. Ueber die quantitativen Leistungen werden fortdauernd Aufzeichnungen geführt, aus welchen nach dem Zeugnisse der Herren Dieterich hervorgeht, dass diese Leistungen nicht unerheblich über dasjenige hinausgehen, was die Prospekte der Maschinenfabrik Augsburg versprechen.

Um ein Bild von der Funktionirung zu geben, lassen wir hier einige der uns mitgetheilten Zahlen folgen (s. S. 396).

Es dürfte vielleicht hier am Platze sein, diejenigen Betriebsvorzüge zusammenzustellen, die diese mechanische Kälteerzeugung vor der Manipulation mit Natureis besitzt. Zunächst fällt der mit Kosten, Verlusten und Unbequemlichkeiten verbundene Transport des Eises innerhalb der Brauerei vollständig weg; einfache Röhrenleitungen führen vom Kaltwasserreservoir aus die nöthige Kälte zu jedem beliebigen Punkte der Brauerei, wo sie benutzt werden soll. Ferner operirt die Maschine stets mit derselben reinen Wassermenge, ein Verschlammen der Bierkühler, wie es durch die unvermeidlichen Unreinigkeiten des Natureises stets nach einiger Zeit eintritt, findet deshalb nicht statt; die Apparate funktionieren schneller und gleichmässig, weil sich nicht ein schlechter Wärmeleiter in Form von Schlamm allmählich ansetzt, und bedürfen seltener Reinigung. Für die Schwimmer in den Gärbottichen erhält man eine viel stetigere und leichter regulirbare Einwirkung auf die Temperatur der gährenden Würze, als bei dem Einsetzen von Eisschwimmern, bei welchen ausserdem das „Ersaufen“ nicht zu den Seltenheiten gehört.

Aus einer ganz genauen Zusammenstellung der sämtlichen Betriebsausgaben berechnen sich bei der vorliegenden Anlage die Kosten für das Aequivalent von 50 kg Eis excl. Verzinsung und Amortisation zu 17 Pf.

*) Nach mir gütigst zugegangenen Mittheilungen kam das Stück incl. Regulir- und Probirhahn, sowie Holländer auf 29,50 Mk.

Tag	Stunde	Menge (Hektoliter) des abzukühlenden Wassers in den Reservoirren	Temperatur (Celsius)	Kältemenge*) (Calorien) p. Stunde, gemessen in den Reservoirren
5. Dezember	7 ^h 15		5,9°	
"	10 ^h 30	240	1,8°	30,300
6. Dezember	10 ^h 30		8,5°	
"	3 ^h 30	240	1,6°	35,500
"	3 ^h 30		9,3°	
"	8 ^h 50	240	1,8°	33,700
Bis 1 ^h Stillstand (weil obere Reserve voll).				
6. Dezember	1 ^h 00		7,5°	
"	5 ^h 00	240	1,8°	34,000
"	5 ^h 00		5,8°	
"	7 ^h 00	240	2,8°	36,000
Eisfabrikation bis 7. Dezember 9 ^h Vormittags.**)				
Stündliche Produktion: 490 Pfund.				
7. Dezember	10 ^h 00		6,5°	
"	1 ^h 20	224	1,6°	33,000
"	1 ^h 20		9,0°	
"	6 ^h 20	240	1,8°	34,500
"	7 ^h 10		8,5°	
"	11 ^h 30	240	2,7°	32,100

Aus diesen Betriebsergebnissen geht wohl mit Sicherheit hervor, dass durch derartige Anlagen eine Reihe von technischen und ökonomischen Vortheilen für den Betrieb einer Brauerei erzielt werden, abgesehen davon, dass der Brauer vollständig unabhängig von den Launen der Witterung wird.

Diese Anlage ist später erheblich vergrößert worden.

2. Anlage von Herrn Gabriel Sedlmayr zum Spaten in München, in regelmässigem Betriebe seit April 1878.

Maschine alte Nummer VII des Linde'schen Prospektes für eine Produktion
von 960 Centner Eis in 24 Stunden.

Die Anlage musste der Lokalverhältnisse wegen in eine Entfernung
von circa 175 m von den Gärkellern verlegt werden.

*) Den Prospekten zufolge hätte die Maschine
bei Abkühlung von 10° C. bis 2° C. 30000 Calorien,
" " " 5° C. bis 1½° C. 16250 Calorien zu leisten.

***) Da der provisorische Eisgenerator zu klein ist, so konnte die volle Leistung
nicht erzielt werden.

Im Situationsplan Fig. 302 ist:

E Maschinenhaus mit Kühleinrichtung,

K Dampfkesselhaus mit Kamin,

G Gärkeller,

kk Bierkühler,

a Rohrleitung für das gekühlte Wasser zur Brauerei,

b Rückleitung von dort.

Die Einrichtung wird verwendet:

zur Kühlung von gewöhnlichem Brunnenwasser auf eine Temperatur von 1° C. und darunter und zur Eisfabrikation.

Das gekühlte Wasser hat den Zweck, die Würze mittels der Bierkühlapparate auf die Gärtemperatur zu bringen, und in den Gärbottichen die erforderliche Temperatur mittels eingehängter Apparate zu erhalten.

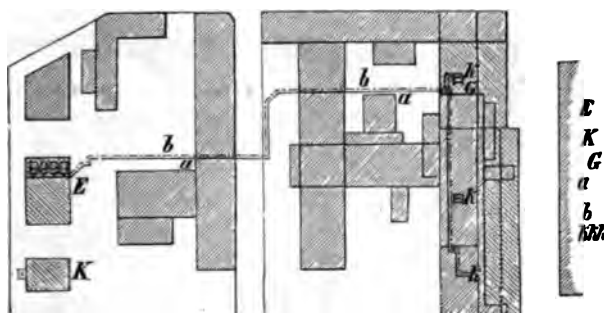


Fig. 302.

Die Maschine kühlt täglich 1600 Hektoliter Bier mittels dreier Apparate bei 7—8stündigem Betriebe.

Die Einrichtung zum Ersatz der Eisschwimmer in den Gärbottichen sollte später zur Ausführung kommen: aber auch damit ist die Leistung der Maschine noch nicht vollständig ausgenutzt und wird die übrige Zeit zur Eisbereitung für die Lagerkeller verwendet.

Die Einrichtung ist derart, dass die ganze Maschine für Wasserkühlung oder für Eisproduktion verwendet werden kann, oder auch die eine Hälfte für Wasserkühlung und gleichzeitig die andere Hälfte zur Eisproduktion.

Die Erfahrung hat ergeben, dass die verhältnismässig grosse Entfernung der Kühleinrichtung von der Brauerei durchaus nicht nachtheilig ist für die Leistung und den Betrieb. Transportkosten des gekühlten Wassers in den Rohrleitungen *a* und *b* entstehen nicht und der Kälteverlust ist ganz unbedeutend. Zur Verständigung zwischen den Lokalen für Gähr- und Kühleinrichtung dienen elektrische Signalwerke.

Fig. 303 und 304 stellen die Anlage in Auf- und Grundriss. *P* sind die beiden Ammoniakpumpen, wovon eine als Reserve. Der Antrieb derselben erfolgt durch die Dampfmaschine *D*, welche

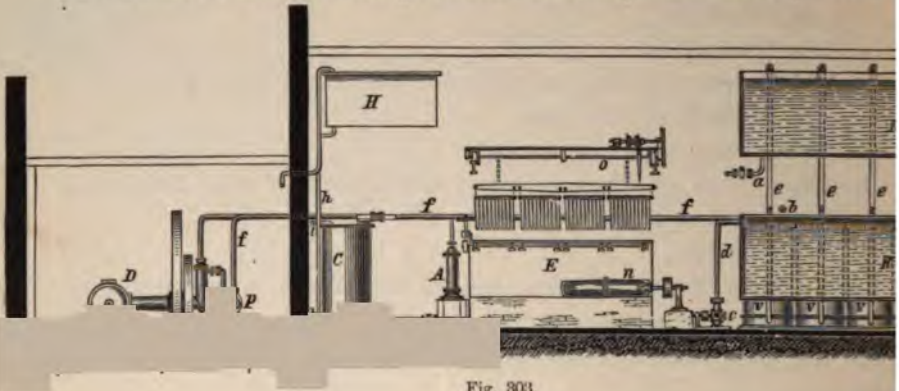


Fig. 303.

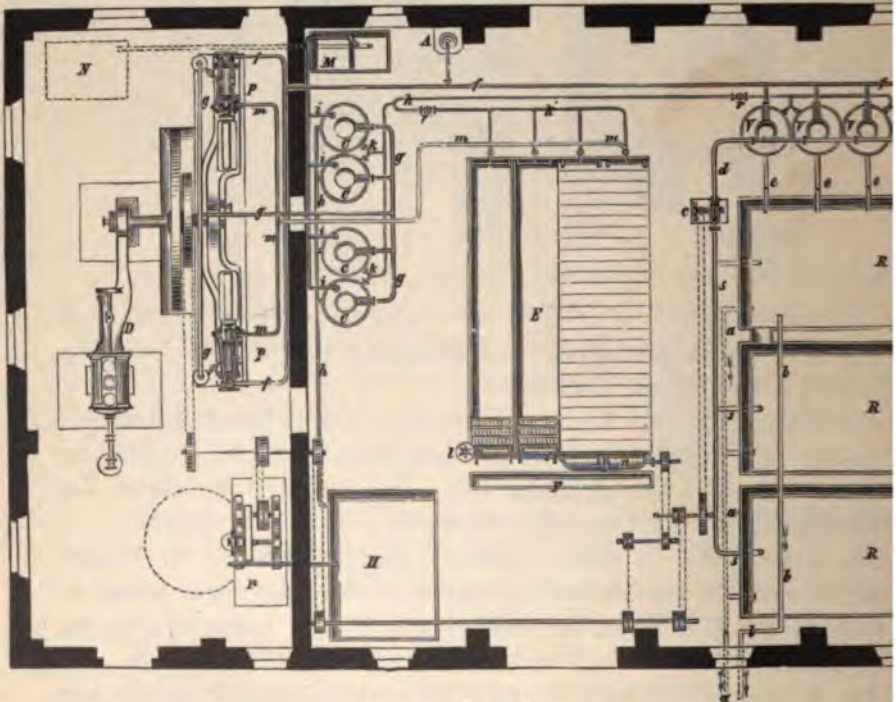


Fig. 304.

Ventilsteuerung und Kondensation versehen ist; die erforderliche K Leistung beträgt bei vollem Betriebe einschliesslich der Kaltwasserpu circa 60 effektive Pferdekräfte. Zwei Siederrohrkessel von je 70 Heizfläche in seitwärts liegendem eigenen Kesselhaus liefern den Da

ür die Dampfmaschine. Im Maschinenraume befindet sich ein Pumpwerk p , welches das für die Anlage nöthige Wasser von einem Brunnen n das Hochreservoir H schafft; die Leistung dieser Pumpe beträgt ungefähr 300 Hektoliter pro Stunde.

In einem vom Maschinenraume getrennten Lokale befinden sich die vier Kondensatoren C , die vier Verdampfer V , der Eisgenerator E , der Destillationsapparat A , welcher zum Füllen der Maschine mit Ammoniak dient, und sechs Reservoirs R und R^1 .

Herstellung von kaltem Wasser zur Kühlung im Gärkeller.

Das abzukühlende und gekühlte Wasser befindet sich in den Reservoirs R und R^1 , welche aus Holz hergestellt sind und einen Fassungsraum von je 260 Hektoliter besitzen. Die unteren Reservoirs R stehen durch die Rohrleitung s mit dem Saugrohr der Centrifugalpumpe c in Verbindung, welche die Circulation des zu kühlenden Wassers durch die Verdampfer zu vermitteln hat. Das Druckrohr d der Centrifugalpumpe führt zu dem über den vier Verdampfern liegenden Querrohr d , welches das Wasser gleichmässig in letzteren vertheilt. Von den Verdampfern führen vier Rohre e zu dem letzten unteren, oder wenn die Austrittshähne geschlossen, zu dem letzten oberen Reservoir.

Entsprechend angebrachte Ueberläufe verbinden die oberen und unteren Reservoirs je unter sich.

Beim Kühlen treibt nun die Centrifugalpumpe das Wasser der Reservoirs R durch die Verdampfer, dieses giebt hier einen Theil seiner Wärme an das in den Rohrspiralen befindliche flüssige Ammoniak ab und geht etwas abgekühlt durch die Rohrleitung c wieder in die Reservoirs R zurück. Ist dasselbe durch mehrmalige Circulation genügend abgekühlt, so wird es in die Reservoirs R^1 gebracht, und von da durch die Leitung a nach der Brauerei geführt.

Durch die Abgabe von Wärme an das flüssige Ammoniak in den Verdampfern entwickeln sich Ammoniakdämpfe; diese werden durch das Saugrohr f der Ammoniakpumpe P zugeführt, welche sie verdichtet und durch das Druckrohr g in die Kondensatoren C schafft; hier werden die Dämpfe mit Hülfe des vom Pumpwerk p nach dem Reservoir H geförderten Wassers wieder kondensirt. Das Wasser tritt durch die Leitung h unten in die Kondensatoren ein und geht durch die Leitung i oben ab zum Messgefäß M , von hier fließt das Wasser zum Reservoir N und dient zur Kondensation der Dampfmaschine.

Durch das Messgefäß M kann das die Kondensatoren passirende Kühlwasser leicht gemessen und damit bei gleichzeitiger entsprechender Temperaturbeobachtung die Leistung der Maschine kontrollirt werden.

Das in den Kondensatoren verflüssigte Ammoniak fließt sodann durch die enge Leitung k und das Regulirventil r zu den Verdampfern, um aufs Neue verdampft zu werden. Das Regulirventil r wird so gestellt, dass ebenso viel flüssiges Ammoniak in die Verdampfer läuft, als die Ammoniakpumpe P Dämpfe ansaugt.

Das auf circa 1° C. abgekühlte Wasser befindet sich stets in den oberen Reservoirs R^1 . Eine Rohrleitung a führt von diesen Reservoirs zu den drei Bierkellern B in dem Gährkeller.

Die Leitung b dient dazu, das von den Bierkühlern benutzte Wasser in die unteren Reservoirs R zurück zu bringen, um von der Maschine aufs Neue gekühlt zu werden.

Eisfabrikation.

Der Eisgenerator E besteht aus einem eisernen Reservoir und Zwischenboden; in letzterem befinden sich Rohrspiralen, in welchen die Verdampfung des Ammoniaks stattfindet. Die entwickelten Ammoniakdämpfe ziehen durch das Saugrohr m zur Ammoniakpumpe und von dieser zu den Kondensatoren wie bei der Wasserkühlung. Das flüssige Ammoniak wird dem Eisgenerator durch das Regulirventil r^1 zugetheilt. Der Raum über dem Zwischenboden im Eisgenerator E ist durch Zwischenwände in vier Abtheilungen getheilt, in welchen sich 1200 Stück Blechzellen befinden, in denen das Wasser friert. Die Zellen, jede 10 kg Eis enthaltend, sind zu je 10 Stück in Wagen gefasst, die sich in vier Reihen auf Bahnen der Länge des Generators nach durch eine Schaltvorrichtung l verschieben lassen. Der Raum um die Spiralen und Zellen ist gefüllt mit einer schwer gefrierenden starken Salzlösung, welche durch einen Circulationsapparat n fortwährend zwischen Spiralen und Zellen in Bewegung erhalten wird. Das in den Spiralen verdampfende Ammoniak kühlt die Salzlösung ab und diese überträgt ihre Kälte an das zu frierende Wasser in den Blechzellen. Ueber den durch Holz abgedeckten und sonst gut gegen Erwärmung geschützten Generator bewegt sich auf Γ -Trägern ein Luftkrahnen o , welcher durch ein Seil von der Transmission getrieben wird. Mittels dieses Krahnens werden die dem Schaltwerk l gegenüber in einer Reihe stehenden vier Wagen von je 10, zusammen 40, eingefrorenen Zellen mit 400 kg Eis aus dem Generator gehoben, bis zum Ablösesreservoir F gefahren, hier so lange in etwas erwärmtes Wasser getaucht, bis sich das Eis von den Zellenwänden ablöst, worauf sie zur Entleerungsvorrichtung gefahren und dort gemeinsam entleert werden. Je 20 Zellen werden gleichzeitig an einer Füllvorrichtung mit frischem Wasser versehen und nach rückwärts zur Stelle des Schaltwerks l gefahren.

Sämmtliche im Generator befindlichen Wagen werden jetzt durch das Schaltwerk um eine Zellenlänge vorgeschoben und die vier Wagen mit den 40 frisch gefüllten Zellen an der frei werdenden Stelle eingesetzt.

Versuche an der Kälteerzeugungsanlage des Herrn Gabriel Sedlmayr wurden am 13. und 18. Mai 1878, und zwar durch die Herren Pitzer, Ingenieur der Bierbrauerei zum Spaten, Schipper, Ingenieur der Maschinenfabrik Augsburg, und Herrn Carl Heimpel durchgeführt.

Zu ermitteln waren folgende Werthe:

1. Kraftbedarf der ganzen Anlage und der einzelnen Maschinen;
2. Kohlenverbrauch;
3. Wärmeabgabe in den Condensatoren, als Summe der wirklich durch die Maschine aufgenommenen Wärme (effektive Kälteleistung) und der in Wärme verwandelten mechanischen Arbeit;
4. Verhältniss der in der Maschine erzeugten Kälte zu der in der Dampfmaschine aufgewendeten Wärme.

Die Messung des Kraftbedarfs konnte nur mit dem Indikator vorgenommen werden, d. h. es wurde die Arbeit des Dampfes in dem Dampfzylinder gemessen und aus den erhaltenen Daten mit Hülfe der bekannten Coëfficienten der effektive Kraftbedarf berechnet.

Die indicirte Leistung der Maschine betrug $N_i = 77,3$ Pferdestärken; hiervon den Kraftbedarf der Circulations- und Kühlwasserpumpen mit 8,6 Pferdestärken subtrahirt, ergibt für die Ammoniakpumpe einen indicirten Kraftbedarf von 68,7, oder mit dem gebräuchlichen Coëfficienten 0,8 multiplicirt einen effektiven von 55 Pferdestärken.

Während der Versuchsdauer von 3 Stunden 50 Minuten wurden an das Kühlwasser 1 009 050 Calorien abgegeben, also stündlich 263 200 Calorien. Rechnet man für den kalorischen Prozess in der Ammoniakpumpe eine Arbeit von 80 Proc. des effektiven Kraftbedarfes, also 44 Pferdestärken, so werden dieselben pro Stunde dem Kühlwasser 27 700 Calorien zuführen. Demnach betrug die effektive Kälteleistung der Maschine in den Verdampfern 235 500 Calorien.

Diese effektiv producirte Kälte konnte in den Reserven nicht vollständig constatirt werden, da sämmtliche Rohrleitungen noch nicht eingehüllt und die Reserven nicht abgedeckt waren und deshalb bedeutende Kälteverluste nach aussen eintreten mussten. Immerhin betrug jedoch die Leistung in den Reserven pro Stunde 198 600 Calorien.

Die angeführten Leistungen wurden bei Abkühlung einer Reservereihe von $7,95^\circ$ auf $1,52^\circ$ erzielt, und zwar ergaben die fortlaufenden Messungen, wie vorauszusehen, anfänglich für die höheren Temperaturen eine wesentlich bedeutendere Kälteproduktion als für die niedrigeren Endtemperaturen. Nachstehend sind einige Werthe verzeichnet, die den Versuchen am 13. Mai entnommen sind.

Temperatur des Wassers beim		Ueberdruck in den		Effektive Kälte- leistung in den Verdampfern (Cal. pro Stunde)
Einlauf der Verdampfer	Auslauf	Ver- dampfern in Atmosphären	Konden- satoren	
7,6	5,8	3,2	9,1	277 100
5,6	4,1	3,0	8,8	252 300
3,6	2,2	2,6	8,4	222 500
2,6	1,3	2,4	8,2	207 000

In den Prospekten über die Linde'sche Maschine ist diese Minderleistung für niedrigere Temperaturen bereits berücksichtigt; während z. B. bei Abkühlung von 10 bis 2° 200 000 Calorien stündliche Leistung garantiert werden, reducirt sich dieser Werth für Abkühlung von 5 auf 1,5° auf 175 000 Calorien. Es dürfte demnach für den bei Gelegenheit des Versuches vorliegenden Fall der Abkühlung von 7,9 auf 1,5° ein verhältnissmässiger Mittelwerth von 185 000 Calorien der Garantie entsprechen. Durch den Versuch ist demnach eine Mehrleistung von stündlich 50 500 Calorien d. h. 27,3 Proc. constatirt. Dieser Mehrleistung gegenüber steht jedoch auch ein wesentlicher Mehraufwand von mechanischer Arbeit. Es wurden für die Pumpe gebraucht 55 effektive Pferdestärken, während 45 im Prospekte angenommen sind; also bei einem Mehrarbeitsaufwand von 22,2 Proc. wurde eine Mehrleistung von 27,3 Proc. erzielt. In entsprechendem Maasse zu dem Mehraufwand an mechanischer Arbeit erhöhte sich selbstverständlich auch der Kohlenkonsum, und zwar wurden nach den Messungen vom 13. Mai, auf den indicirten Kraftbedarf der Ammoniakpumpe von 68,7 Pferdestärken reducirt, 128,7 kg Haushammer Kohle pro Stunde verbrannt. Diese Kohle verdampft nur circa das 4,5 bis 5 fache ihres Gewichtes Wasser. Setzt man Kohlen von circa 8facher Verdampfung voraus, so gestatten die im Kondensator der Dampfmaschine vorgenommenen Wärmemessungen sehr genau den entsprechenden Kohlenverbrauch rechnerisch zu bestimmen. Nach diesen Messungen wurden der Dampfmaschine 375 300 Calorien für eine indicirte Leistung von 68,7 Pferdestärken zugeführt; diesem Werthe entsprächen bei dem vorhandenen Dampfdruck von 5,2 Atmosphären 545,1 kg Speisewasser von 0°. Rechnet man hierzu noch 10 Proc. für Verluste und Wassergehalt des Dampfes, so resultiren pro Stunde 599,6 kg, oder 8 fache Verdampfung vorausgesetzt ein Kohlenverbrauch von 75 kg, so dass die verwendeten Kohlen nur circa 4 fache Verdampfung ergeben haben. Nach dem Prospekte dürften pro Stunde 67,5 kg Kohle verbrannt werden, so dass ein Mehrverbrauch an Kohle von 9 Proc. der Mehrleistung der Maschine von 27,3 Proc. gegenüberstehen.

Besonders interessant für den unten weiter durchgeführten Vergleich mit Carré's Ammoniakmaschinen ist das Verhältniss der producirten Kälte zur aufgewendeten Wärme, das sich für den gegebenen Fall zu $\frac{235500}{375300}$ berechnet, also sich etwas höher als 3:5 ergibt, d. h. mit 5 Calorien Wärmezufuhr ist diese Maschine unter den gegebenen Verhältnissen im Stande, 3 Calorien Kälte zu erzeugen.

Die Versuchsergebnisse übertreffen demnach durchschnittlich die in den Prospekten garantirten Zahlen, und arbeitete auch die Maschine zur vollsten Zufriedenheit ihrer Besitzer bis zur Beendigung der Sudperiode (Ende Juni) ohne Störung fort. Es mussten täglich beide Reservereihen einmal gekühlt werden, eine Aufgabe, die von der Maschine in durchschnittlich 7 bis 8 Stunden erfüllt wurde.

Wie in Früherem bereits bemerkt, diente dieses gekühlte Wasser vorläufig hauptsächlich zur Abkühlung der Würze in den Bierkühlern.

Ausserdem werden auch noch beständig Versuche gemacht, um den Einfluss kennen zu lernen, welchen die rasche Abkühlung des Bieres unmittelbar nach der Hauptgärung auf den Vergährungsgrad, den Geschmack und die Haltbarkeit der Biere hat. Es soll eine möglichst kalte Nachgärung erreicht werden, deren grosser Werth in Bezug auf den Geschmack des Bieres hinlänglich bekannt ist. Gegenwärtig werden die Biere, die mit 6—7° R. aus dem Gärkeller kommen, durch einen Nobak'schen Kühlapparat auf 2° abgekühlt. Werden die Fässer mit diesem Biere vollständig gefüllt, so dauert es circa 8 Tage, bis die Nachgärung beginnt und das Bier zu stechen anfängt. Es zeigte sich also, dass die Wirksamkeit der Hefe als Ferment durch die rasche Abkühlung etwas leidet, und wird daher jetzt so verfahren, dass die Fässer mit zweigrädigem Biere $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ angefüllt und dann mit wärmerem Biere ausgefüllt werden, worauf sofort eine starke und schöne Nachgärung eintritt. Hinsichtlich der Qualität der Biere sind die Resultate bis jetzt sehr befriedigend, soweit dies bei den wenigen Versuchen und der kurzen Lagerung der Biere zu beurtheilen ist.

Auch diese Anlage ist später sehr erheblich erweitert worden.

3. Kälteerzeugungsanlage in der Bierbrauerei des Herrn A. Dreher in Triest.

Eine der vollständigsten Einrichtungen für Verwendung mechanisch erzeugter Kälte ist in der Brauerei des Herrn A. Dreher in Triest ausgeführt. Die dortigen Apparate erfüllen sämtliche Aufgaben, die an Kälteerzeugungsmaschinen in Brauereien überhaupt gestellt werden können; sie dienen erstens zur Raumkühlung durch direkte Einführung kalter Luft, zweitens zur Abkühlung von Wasser für Bierkühler etc., und

ist drittens in neuester Zeit die Anlage noch dahin vervollständigt worden, dass Einrichtungen für Eiszerzeugung getroffen wurden.

Ursprünglich nur für Raumkühlung eingerichtet, bestand die Anlage aus einer Kälteerzeugungsmaschine von derselben Leistungsfähigkeit wie die Düsseldorfer Maschine; die Ammoniakpumpe *P* (Fig. 198) ist in diesem Falle als stehende Pumpe mit zwei einfach wirkenden Cylindern ausgeführt. Dieselbe war durch entsprechende Saug- und Druckrohre in derselben Weise mit dem Verdampfer *V* und dem Kondensator *C* gekuppelt, wie es die früher beschriebenen Anlagen zeigten. Der Antrieb der Pumpe und der übrigen aufgestellten Apparate erfolgte durch die Dampfmaschine *D*. Ausser dieser eigentlichen Kälteerzeugungsmaschine war noch ein

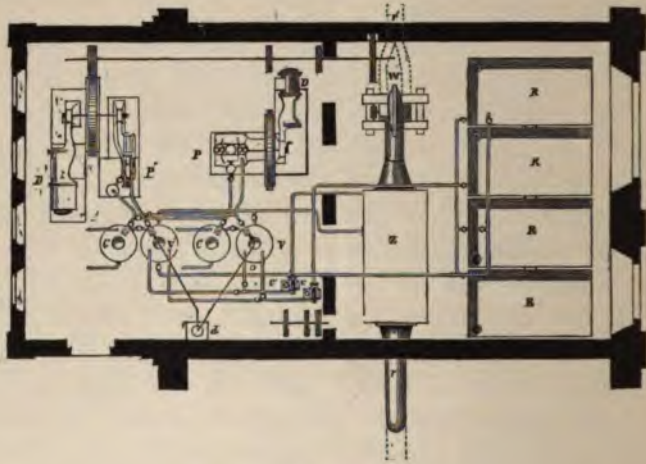


Fig. 305.

eigenthümlich konstruirter Apparat *L* zur Abkühlung der Luft aufgestellt, der durch einen Ventilator *W* die abzukühlende Luft zugeführt erhielt.

Später wurde die Anlage in der Weise vergrössert, dass eine vollständige Kälteerzeugungsmaschine von der gleichen Grösse, mit Pumpe *P*, Dampfmaschine *D'*, Verdampfer *V'* und Kondensator *C'*, zur Aufstellung kam, die den Zweck hatte, das für die Bierkühler nöthige Wasser abzukühlen. Zur Aufnahme des kalten Wassers sind vier Reservoirs *RRR* aufgestellt, und eine der Centrifugalpumpen *cc'* besorgt die Circulation des zu kühlenden Wassers durch die Maschine.

Die Saug- und Druckrohre der Ammoniakpumpen wurden bei Anlage der neuen Maschine so gekuppelt, dass es möglich wird, jede der beiden Pumpen mit einem beliebigen Röhrenapparatenpaare arbeiten zu lassen. Ein kleiner Destillationsapparat *d* dient zur Füllung der Maschinen mit flüssigem Ammoniak. Die Anlage von Hochreservoirs konnte in dieser

le unterbleiben, da das in den Bierkühlern benutzte Wasser nicht mehr rückgeführt wird, sondern jedesmal frisches Wasser zur Verwendung kommt. Im Uebrigen ist die Einrichtung für Wasserkühlung vollständig identisch mit den bisher behandelten Anlagen, und kann um so mehr einer eingehenden Besprechung abgesehen werden, da auch die erzielten Resultate den in Düsseldorf erhaltenen gleichkommen.

Der in einem Nebenraume aufgestellte Eisgenerator unterscheidet sich von den allgemein üblichen Konstruktionen nur durch eine zweckmässige und einfache Vorrichtung zum Transport und Entleeren der Gefrierzellen.

Besonderes Interesse verdient die Einrichtung der Luftkühlung, wesentlich von den bis jetzt gebräuchlichen Methoden abweicht und in

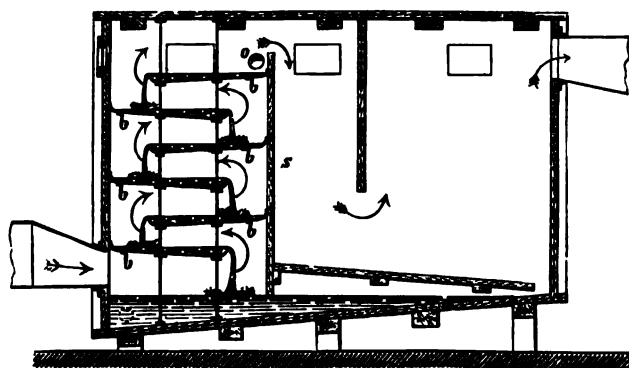


Fig. 306.

den Resultaten technisch und pekuniär vollkommen befriedigte. Die Einrichtung hat den Zweck, einen Gärkeller auf der für die Gärung ohne Schwimmer nothwendigen niedrigen Temperatur zu erhalten, und erreicht diesen Zweck dadurch, dass die gesammte Luftmenge des Kellers in beständiger Circulation durch die Kühlmaschine erhalten wird. Der Ventilator saugt die Luft aus dem Keller an, mischt sie zur Lufterneuerung mit einem regulirbaren Quantum frischer Luft und treibt dieselbe durch den Apparat *L* hindurch wieder in den Keller. Die Abkühlung der Luft erfolgt dadurch, dass dieselbe mit einer von der Kälteerzeugungsmaschine gekühlten Flüssigkeit in innige Berührung gebracht wird. Diese innige Berührung wird durch die eigenthümliche Konstruktion des in Fig. 306 und 307 in grösserem Maassstabe dargestellten Luftkühlapparates *L* in sehr vollkommenen Weise erzielt.

Dieser Apparat besteht aus einem hölzernen Kasten von 3 m Höhe, 3 m Länge und 2 m Breite, der durch eine im Innern angebrachte Theilwand *s* in zwei Kammern getrennt ist. In der vorderen Abtheilung befinden sich sechs hürdenförmig über einander angeordnete, etwas

nach vorn geneigte Bleche *bb*, die, sich gegenüberstehend, die durchströmende Luft zu einem Zickzackwege zwingen. Durch die Eintrittsöffnung *o* strömt auf das oberste Blech die von der Maschine gekühlte Flüssigkeit (Salzwasser), vertheilt sich auf der ganzen Breite desselben und läuft in dünner Schicht auf das zweite Blech, von diesem auf das dritte u. s. w. Durch diese Einrichtung ist es nicht nur gelungen, die

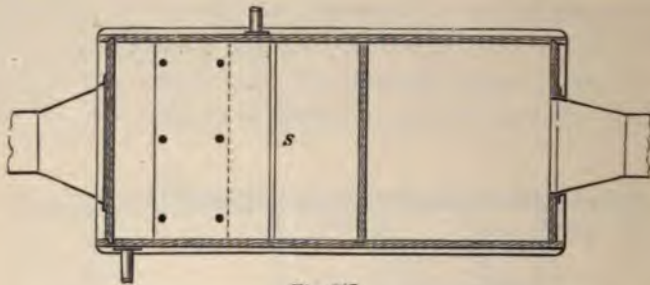


Fig. 307.

Luft in verhältnissmässig kleinem Raume an einer grossen gekühlten Metallfläche vorbeizuführen, sondern muss dieselbe auch noch ohne grossen Druckverlust direkt durch die kalte Flüssigkeit durchdringen. Bei dieser

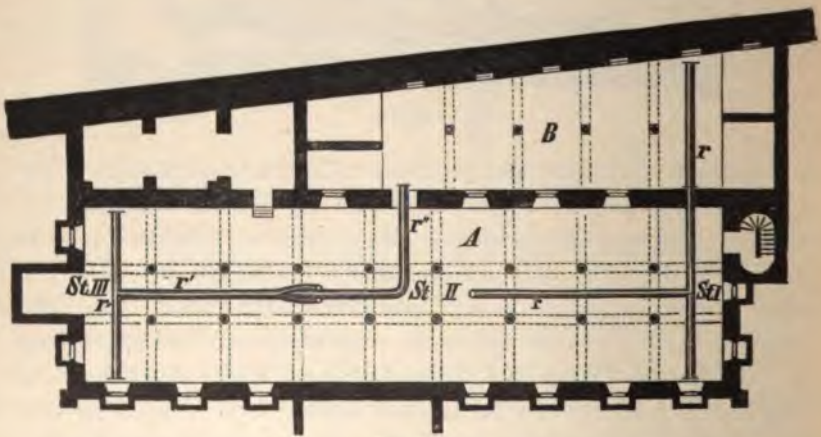


Fig. 308.

innigen Berührung findet sehr rasch und vollständig die Wärmeabgabe statt, so dass zwischen der Temperatur der Kühlflüssigkeit und derjenigen der Luft bei normalem Betriebe nur eine Differenz von circa $2,6^{\circ}$ C. vorhanden ist, die im Maximum auf $3,5^{\circ}$ steigt.

Die Kühlflüssigkeit sammelt sich am Boden des Kastens und wird zu neuer Abkühlung durch eine der Centrifugalpumpen *cc'* der Kälteerzeugungsmaschine zugeführt. Die durchströmende Luft reisst selbst-

verständlich etwas Kühlflüssigkeit mechanisch mit, und wird deshalb derselben in der zweiten Kammer Gelegenheit gegeben, diese mitgerissenen Flüssigkeitstheilchen wieder abzusetzen; erreicht wird dieses einfach dadurch, dass die Geschwindigkeit der Luft durch vergrößerte Durchgangsverschnitte verringert und dadurch die schwereren Flüssigkeitstheilchen Zeit haben niederzufallen; eine Oeffnung am Boden vereinigt diese Flüssigkeit mit der direkt ablaufenden.

Der abzukühlende Gährkeller, in Fig. 308 im Grundriss dargestellt, besteht aus zwei Abtheilungen *A* und *B*, die bei intensivem Betriebe gleichzeitig zu kühlen sind.

Die durch den Kühlkasten abgekühlte Luft strömt durch das Druckrohr *rr* dem Keller zu, und zwar mündet dasselbe in ein an der Decke angebrachtes Querrohr, das mit einer Anzahl regulirbarer Austrittsöffnungen versehen ist. Die austretende Luft bewegt sich, allmählich sich erwärmend, durch die ganze Länge des Kellers und wird am anderen Ende desselben durch ein entsprechendes Querrohr des Saugrohres *r'* vom Ventilator angesaugt und zu gleichem Kreislaufe dem Kühlapparate wieder zugeführt. Ein Zweigrohr *r''* der Saugleitung wird geöffnet, wenn die Abkühlung *B* des Kellers in Betrieb zu setzen ist.

Der Rauminhalt der Abtheilung *A* beträgt circa 3900 cbm, die Abtheilung *B* enthält circa 1600 cbm. Die Zahl der aufgestellten Gährbottiche ist 152 à 26 Hektoliter Inhalt, beziehungsweise 60 à 25 Hektoliter Inhalt. Bei stärkstem Betriebe kommen in 24 Stunden 420 Hektoliter Würze mit einer Anstelltemperatur von 4,5° in die Keller.

Datum	Stunde der Beobachtung	I. Station			II. Station			III. Station			Mittlere Temperatur im Keller	Temperatur im Freien
		oben	mitten	unten	oben	mitten	unten	oben	mitten	unten		
14. März	8 ^h V.	3,3	3,4	3,6	4,3	4,4	3,9	5,0	4,8	4,5	4,13	10,6
	4 ^h N.	3,2	3,3	3,7	4,4	4,4	3,8	5,1	4,7	4,4	4,11	11,0
7. April	8 ^h V.	3,6	3,8	3,5	4,2	4,4	4,0	4,8	4,6	4,1	4,11	12,2
	4 ^h N.	3,6	4,1	4,1	4,4	4,4	4,0	4,8	4,5	4,3	4,24	16,2
15. April	8 ^h V.	3,0	3,2	3,3	4,2	4,0	4,3	4,8	4,4	4,2	3,93	12,6
	4 ^h N.	3,2	3,2	3,3	4,2	4,1	4,2	4,8	4,2	4,3	3,94	21,2
6. Mai	8 ^h V.	3,5	3,6	3,7	4,8	5,0	4,1	5,4	5,1	5,0	4,47	18,8
	4 ^h N.	3,4	3,5	3,7	4,6	4,8	4,1	5,4	5,1	4,6	4,36	21,0
6. Mai	8 ^h V.	4,4	4,6	4,7	5,4	5,8	5,0	6,0	5,8	4,9	5,18	22,0
	4 ^h N.	4,6	4,6	4,8	5,4	5,8	5,1	6,0	5,8	5,0	5,23	27,2

Wie weit es nun gelang, die für die Gährung nothwendige niedrige Temperatur im Keller zu erhalten, mögen vorstehende von Herrn Direktor Dr. Lermer gütigst zur Verfügung gestellten Beobachtungsergebnisse nachweisen. Es ist hierbei zu bemerken, dass die Thermometerablesungen sich auf die in Fig. 308 eingezeichneten drei Stationen beziehen, und zwar

wurden die Temperaturen an der Decke, am Boden und ungefähr in der Mitte des Raumes gemessen.

Hierbei konnte die Anwendung der Schwimmer in den Gärbottichen gänzlich unterbleiben, die früher bis 80 Ctr. Eis täglich konsumirten.

Auf genaue Versuche gestützte Rechnungen ergaben für die Ammoniakpumpe einen Kraftverbrauch von 8 effektiven Pferdestärken, während der Ventilator, die Centrifugalpumpe und die Transmission 4 effektive Pferdestärken absorbirten.

Auf den Verlauf der Gärungen war diese Raumkühlung von der günstigsten Wirkung. Die klimatischen Verhältnisse machten es früher in erhöhtem Maasse nothwendig, sämtliche Luftöffnungen dicht zu verschliessen; die nun stagnirende Luft, verbunden mit dem hohen Feuchtigkeitsgehalt, begünstigte aber, nach Untersuchungen des Herrn Dr. Lermer, das Wachsthum einer besonderen Art mikroskopischer Pilze, die ihrerseits sehr nachtheilig auf den Verlauf der Gärung selbst einwirkten. Beide Grundursachen dieser Pilzbildung sind durch Anwendung der Luftkühlung beseitigt; erstens ist stete lebhaftere Luftcirculation vorhanden, und ausserdem wird dadurch, dass die einströmende kalte Luft bei ihrer Erwärmung im Stande ist, Wasserdampf aufzunehmen und diesen Wasserdampf zum grossen Theil bei der im Luftkühlapparate herrschenden niedrigen Temperatur zu kondensiren und an die Salzlösung abzugeben, eine austrocknende Wirkung auf den Keller ausgeübt. Es führen z. B. 1000 cbm Luft, die mit 6° den Keller in gesättigtem Zustande verlassen, 2 Liter Wasser dem Kühlapparate zu, wenn sie bei 1° gesättigt wieder in den Keller eintreten.

Thatsächlich beträgt die auf solche Weise täglich im Keller verdunstende Wassermenge mehrere hundert Liter, und sind Boden und Bottichwände fast vollständig trocken.

Die circulirende Luftmenge beträgt bis zu 10 000 cbm pro Stunde, und musste die Leistung der Maschine häufig reducirt werden, weil die abkühlende Wirkung sich zu sehr steigerte. Nach Angabe des Herrn Direktor Dr. Lermer ist durch die ganze Einrichtung eine wesentliche Erleichterung und Vervollkommnung des dortigen Betriebes erzielt worden.

4. Kälteerzeugungsanlage in der Westminster Brewery in London.

Diese durch besondere Einfachheit sich auszeichnende Anlage hat ausschliesslich die Aufgabe, das für Bierkühler nothwendige Wasser von circa 18° auf die für die obergährige Methode ausreichende Temperatur von 8° (circa 65 bis 47° F.) abzukühlen.

In Fig. 309 ist die Disposition dieser Anlage gegeben. Ein Hochreservoir *R*, das auch für andere Zwecke Wasser abzugeben hat, liefert der Kälteerzeugungsmaschine sowohl das im Kondensator *C* benutzte Kühl-

ser, als auch das im Verdampfer V zu kühlende Wasser; letzteres wird abgeleitet, in mehreren kleineren Reservoiren R' aufgefangen und für seinen Zweck aufbewahrt.

Das zu erzielende Temperaturgefälle von circa 10° ist bei den gegebenen relativ hohen Temperaturen bei einmaligem Durchströmen des Wassers durch den Verdampfer zu erreichen. Da nun diese einmalige Circulation durch den hydraulischen Druck selbst bewirkt wird, so konnte die Anordnung der bisher benutzten Circulationspumpe abgeändert werden, so dass der Verdampfer der Kälteerzeugungsmaschine nur in die Wasserleitung eingeschaltet erscheint.

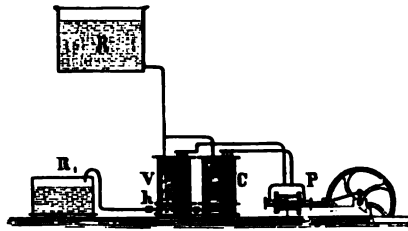


Fig. 309.

Die Temperatur des abgekühlten Wassers wird durch das in der Zeit-

zeit durch den Verdampfer strömende Quantum desselben bestimmt, es ist deshalb beim Austritt aus dem Verdampfer ein Hahn h angebracht, durch den die austretende Wassermenge und damit die Temperatur desselben zu messen gestattet. Von einer Rückführung des in den Bierkühlern bereits benutzten Wassers ist abgesehen, und zwar deshalb, weil die hohe Temperatur desselben eine weitere Benutzung unvortheilhaft erscheinen lässt und genügend frisches Wasser zur Verfügung steht.

Die Kälteerzeugungsmaschine entspricht der in Düsseldorf und Triest angewandten Grösse, und ergab dieselbe nach Versuchen noch wesentlich günstigere Resultate, als wir sie bisher kennen lernten. In Folgendem sind einige dieser Versuchswerthe angegeben.

Umdrehungszahl pro Minute	Temperatur des abzukühlenden Wassers	Temperatur des gekühlten Wassers	Gekühlte Wassermenge p. Stunde in Liter	Erzeugte Kälte pro Stunde in Calorien
50	18,96°	8,89°	4200	42 300
57	21,1°	11,45°	4596	44 350
59	17,8°	8,1°	4824	46 790

Diese ausserordentlich hohen Leistungen erklären sich durch die relativ hohen Temperaturen, auf welche das Wasser abzukühlen ist. Die Maschine wird, der höheren Temperatur, die sie zu erzeugen hat, entsprechend, mit höherem Verdampferdruck arbeiten können. Nun ist aber die Dichtigkeit der Ammoniakdämpfe, d. h. das Gewicht der Cubikeinheit derselben, nahezu proportional dem Drucke, so dass demnach durch einen Anhub der Maschine eine grössere Gewichtsmenge Ammoniakdämpfe angesaugt wird als bei niedrigerem Verdampferdrucke, d. h. bei geringerer

Dichtigkeit der Dämpfe der Fall ist. Die grössere Gewichtsmenge absorbiert natürlich bei ihrer Verdampfung auch eine grössere Wärmemenge, die dem umgebenden abkühlenden Wasser entzogen wird. Die aufzuwendende mechanische Arbeit ist hierbei nahezu unabhängig von diesem Drucke im Verdampfer. Es ist dies schon mehrfach hervorgehoben.

5. Anlage von Herrn Josef Sedlmayr zum Leist in München,
in regelmässigem Betriebe seit October 1877.

Maschine alte Nummer V des Lindé'schen Prospektes für eine Produktion von 240 Ctr. Eis in 24 Stunden.

Diese Anlage, in Fig. 310 in Auf- und Fig. 311 in Grundriss dargestellt, dient gleichfalls zur Wasserkühlung und Eisfabrikation ebenso wie die vorher beschriebene.

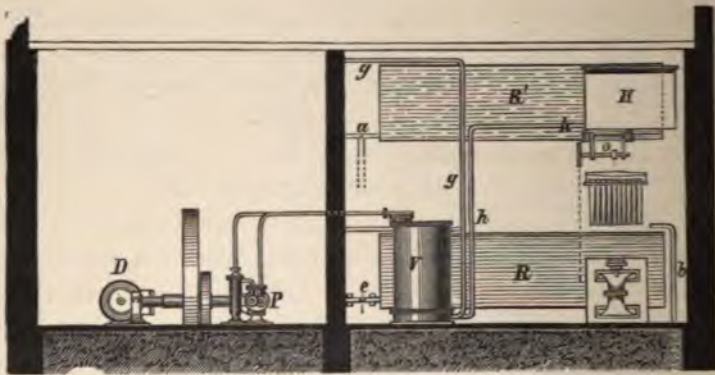


Fig. 310.

Die Einrichtung ist derart, dass zwei vollständige Kühlmaschinen Nr. IV erwähnten Preiscourantes von je halb so grosser Leistungsfähigkeit wie Nr. V zur Anwendung kommen. Diese Anordnung gewährt den Vortheil, dass mit der einen oder anderen Maschine gearbeitet werden kann, je nachdem es die Umstände erfordern.

Im Maschinenraume befindet sich die Dampfmaschine *D* von 25 Pferdekraften, mit vom Regulator verstellbarer Expansionsvorrichtung und Kondensation.

An der Kurbelachse dieser Maschine sind die beiden Ammoniakpumpen *P* mittels gemeinschaftlicher Kurbel verbunden.

Im grösseren Lokal neben dem Maschinenraume sind zwei Kondensatoren *C*, zwei Verdampfer *V*, ein Eisgenerator *E* und die Reservoirs *RR*¹ von je 300 Hektoliter Inhalt für das zu kühlende Wasser.

Im kleineren Lokal ist der Destillationsapparat *A* aufgestellt zur Füllung Kühlmachine mit Ammoniak mittels der Leitung *u*.

Bei der Wasserkühlung erfolgt die Circulation des Wassers zwischen Verdampfern und den Reservoirs durch zwei Centrifugalpumpen *c*.

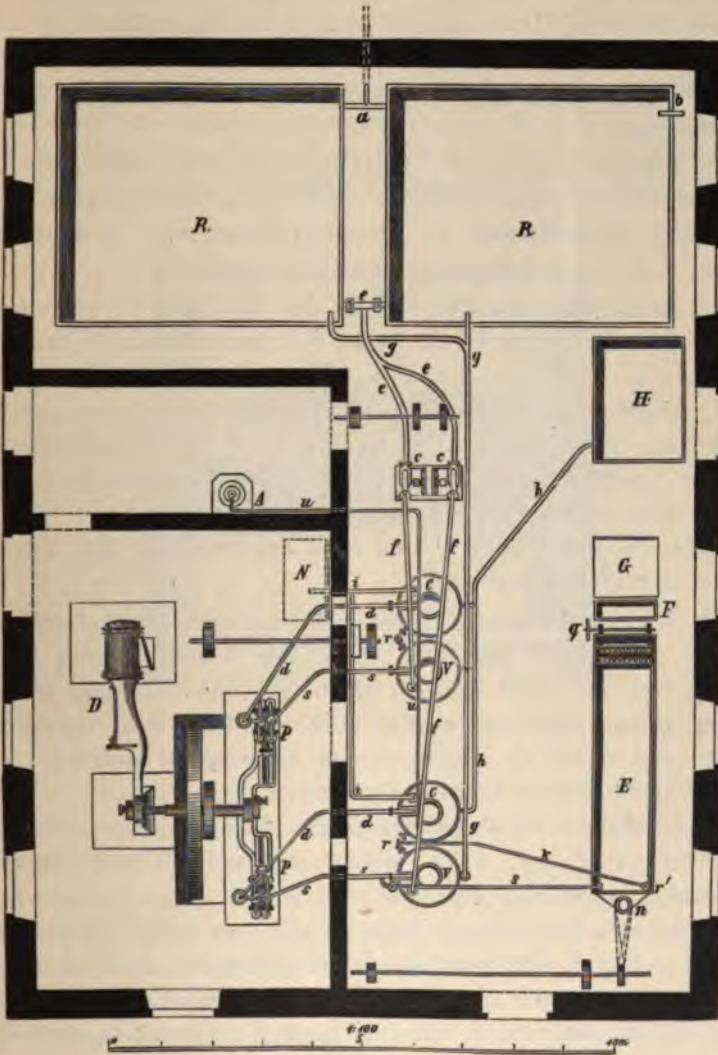


Fig. 311.

Die beiden Pumpen saugen durch die Rohrleitung *e* das Wasser aus den oberen Reservoirs *R* an, fördern dasselbe durch die Leitung *f* zu den Verdampfern und zurück durch die Leitung *g* in die unteren Reservoirs, wo, wenn das Wasser genügend gekühlt, in die oberen Reservoirs *R* überfließt.

Von diesen letzteren wird das kalte Wasser durch die Rohrleitung *a* zum Bierkühlapparat im Gärkeller und durch die Leitung *b* wieder zurück in die unteren Reservoirs geführt.

Die beim Kühlen des Wassers in den Verdampfern *V* entwickelten Ammoniakdämpfe werden durch die Rohre *s* von den Pumpen *P* angesaugt und durch die Druckrohre *d* zu den Kondensatoren *C* gebracht, in welche letzteren sie sich zur Flüssigkeit verdichten.

Das flüssige Ammoniak gelangt durch die Regulirventile *r* wieder in die Verdampfer.

Das nöthige Kühlwasser für die Kondensatoren wird dem Reservoir *H* entnommen durch die Leitung *h*. Das Wasser läuft, nachdem es einen Theil Wärme aufgenommen hat, durch die Leitung *i* zum Reservoir *N* und dient dort zur Kondensation der Dampfmaschine.

Die Beschaffung des Wassers in das Reservoir *H* geschieht durch ein Pumpwerk der Brauerei und ist der Verbrauch stündlich circa 70—80 Hektoliter.

Die Einrichtung zur Eisfabrikation ist dem Principe nach dieselbe wie die erst beschriebene. Der Generator *E* ist eingerichtet für eine Produktion von 5 Ctr. pro Stunde, entsprechend der Leistung einer der beiden Ammoniakpumpen.

Durch die Rohrleitung *s*¹ und *k* ist der Generator mit dem Kondensator und der Pumpe verbunden.

Das flüssige Ammoniak fließt vom Kondensator *C* durch die enge Leitung *k* und das Regulirventil *r*¹ in die Rohrspirale des Generators, verdampft dort und kühlt dadurch die umgebende Salzlösung ab; die entwickelten Ammoniakdämpfe werden durch die Leitung *s*¹ von der Pumpe angesaugt und durch die Rohre *d* zum Kondensator gedrückt, um dort verflüssigt zu werden.

200 Blechzellen in Wagen von je 10 Stück gefasst tauchen im Generator in die Salzlösung, welche letztere durch den Circulationsapparat *n* fortwährend in Bewegung erhalten wird.

Ueber dem Eisgenerator befindet sich ein Luftkrahnen *o* für Handbetrieb eingerichtet, mit welchem die eingefrorenen Zellen auf der Seite des Circulationsapparates aus dem Generator gehoben und in das Ablösereservoir *F* getaucht werden, damit sich das Eis durch das etwas erwärmte Wasser von den Zellenwänden ablöst.

Der hinter dem Ablösereservoir befindliche geneigte Tisch *G* dient zum gemeinschaftlichen Entleeren der 10 Zellen je eines Wagens mit zusammen circa 100 kg Eis.

Die geleerten Zellen werden durch eine Vorrichtung gleichzeitig mit Wasser gefüllt und mittels des Krahns in den Generator eingesetzt und

zwar an die durch das Verschieben der sämtlichen Zellenwagen mit dem Schaltwerk q frei gewordene Anfangsstelle.

Die Josef Sedlmayr'sche Anlage ist später durch Aufstellung zweier Maschinen Nr. VI vergrößert worden. Diese Erweiterungen bilden einen guten Beweis für die Brauchbarkeit der Kältemaschinen für direkte Kühlzwecke.

Es ist hier besonders eine Vorrichtung hervorzuheben, die von Prof. Linde konstruiert wurde, um vollkommen klares Eis zu erzeugen. Vaass & Littmann suchen dasselbe zu erreichen durch den bereits beschriebenen Destillationsapparat. Der Linde'sche Eisgenerator ist ein mechanischer Apparat, der gleichzeitig die Eisfabrikation vollkommen automatisch be-

Apparate
für
Krystalleis.

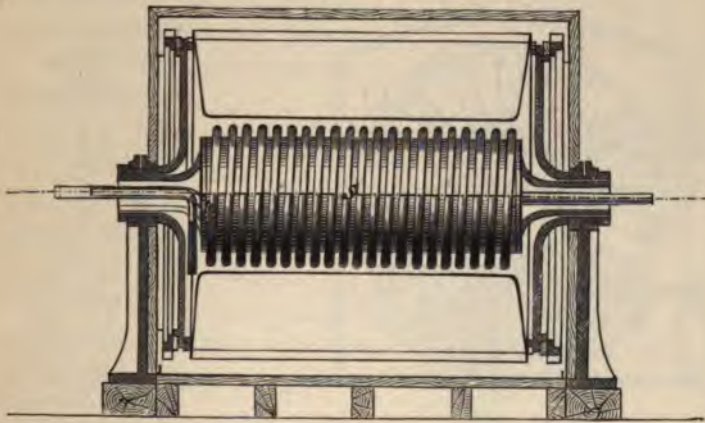


Fig. 312.

wirken soll. Die ebenso mühsame wie zeitraubende Arbeit der Füllung und Entleerung der Eiszellen soll vermieden werden, vielmehr Alles auf mechanische Weise durchgeführt werden.

Am Umfang einer Trommel T (Fig. 312 und 313) sind radial gestellte Blechzellen eingesetzt, die mit der Trommel fest verbunden werden und gegen das Innere derselben sorgfältig abgedichtet sind. Die beiden ebenfalls dicht aufgeschraubten Böden tragen in der Mitte hohle Zapfen. Im Innern dieser Trommel befindet sich der Verdampfer der Eismaschine in Form einer liegenden Rohrspirale S , umgeben von einer schwer gefrierenden Flüssigkeit (Chlorkalciumpulver). Die Rohrenden der Verdampferspirale, sowie eines Füllungs- und Entleerungsrohres für die Salzlösung, treten durch die hohlen Zapfen der Trommel aus und sind in denselben durch leichte, drehbare Stopfbüchsen gedichtet. Die ganze Trommel ist in zwei Lagern aufgehängt und wird durch zwei Stirnkolben in langsame

Rotation versetzt. Da sie bis nahe zur Mitte in ein Süßwasserreservoir *R* eintaucht, so bedecken sich die Zellenwände je mit einer Wasserschicht, welche während der Umdrehung krystallklar anfriert.

Die Rotation bewirkt ausserdem noch eine starke Bewegung der Salzlösung im Innern der Trommel und damit einen lebhaften Wärmeaustausch mit der Verdampferspirale.

Sind die Zellen vollkommen ausgefrozen, was nach circa 8 Stunden der Fall ist, so wird zur Ablösung des Eises von den Zellenwänden die kalte Salzlösung ausgepumpt und durch eine etwas vorgewärmte ersetzt. Da jedoch stets ein Ueberfrieren des Eises über die Zellenränder stattfindet, so muss zur vollkommenen Ablösung des Eisprismas das Eis an den Zellenrändern durchgeschnitten werden, eine Aufgabe, die in sehr voll-

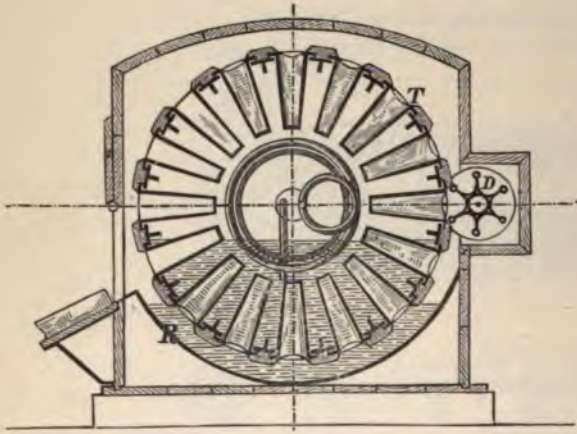


Fig. 313.

kommener Weise durch einen eigenthümlich konstruirten Dampfabschneideapparat *D* erfüllt wird. Die nun vollständig abgelösten Eisplatten fallen ohne weitere Nachhülfe durch die geöffnete Thür des Apparates in einen bereitstehenden Wagen. Auf diese Weise ist in kurzer Zeit eine Trommel von 72 Eistafeln im Gesamtgewichte

von circa 1250 kg Eis entleert. Die Trommel ist zum Schutze gegen Wärmeaufnahme durch einen Holzkasten vollkommen eingehüllt.

In Fig. 314 und 315 ist eine auf- und abbewegte Rührvorrichtung dargestellt.

Central in jede Zelle taucht eine Stange, an deren unterem Ende eine starke runde oder viereckige Gummiplatte angebracht ist. Alle Stangen gehen durch Büchsen in der festen Decke des Generators und sind sektionsweise in Winkeleisenstangen befestigt, welche ihrerseits quer mit zwei Längsbalken verbunden sind. Diese Längsbalken erhalten je nach der Länge des Generators vier oder mehrere Geradföhrungen und Pleuelstangen und werden durch ein Kurbel- und Hebelsystem auf- und abbewegt. Die Gummiplatten der ersten Sektion (auf der Zuföhrungsseite des Generators) erhalten den grössten Durchmesser, weil in diesen Zellen noch kein Eis angesetzt ist. Der Durchmesser dieser Platten verringert sich in angemessener Weise in Richtung nach dem entgegengesetzten Ende des Gene-

rs, wo die Stärke der Eisbildung zunimmt. Der Hub ist so begrenzt, der tiefste Stand der Gummipplatten x etwas über halbe Dicke des blockes vom Boden entfernt bleibt, während dieselben im höchsten d bei y etwas unter dem Niveau der Zellen bleiben.

Soll eine Sektion aus dem Generator entfernt und eine neue ein- racht werden, so wird die Bewegung der Rührvorrichtung gehemmt, Kurbelscheibe durch die Sperrklinke 1 in die gezeichnete Lage gebracht der Hebel 2 niedergedrückt. Dann hebt sich, weil die Bewegungs- el 3 des Rahmens auf die kurzen Hebel 4 aufgezapft sind, das ganze tem, wobei diese Hebung durch

Widerstand der Pleuelstange 5 ippelt wird, bis sich sämtliche nmischeiben der vertikalen Stangen r dem Zellenrande in der Lage x nden, worauf das Verschieben der tionen erfolgen kann.

Vaass & Littmann und auch ar Kropff benutzen, wie auf e 121 in Fig. 19 beschrieben, auf- ochtes und destillirtes Wasser zur bereitung, wodurch ebenfalls die t aus dem Wasser entfernt worden so dass sich vollkommen krystall- es Eis herstellen lässt.

Ebenso Linde in dem auf Seite 186 . 246 beschriebenen Apparat.

Aehnliche Rührwerke wie oben chrieben sind von Linde ange- chrieben, um die Luft aus dem Wasser zu entfernen, und von A. Walther Chemnitz, der Ketten in den Zellen bewegt.

Ein anderes Verfahren beruht auf beständiger Bewegung des Wassers. ar Kropff saugt mittels einer bei d in Fig. 316 angeschlossenen pumpe das Wasser aus den Gefrierzellen a bis in das Gefäss c . Durch elmässig alternirende Drehung des Hahnes e tritt dann Luft in den älter c , worauf das Wasser in demselben wieder fällt und in die Ge- rzellen zurücktritt. Durch die beständige Bewegung des Wassers wird

Luft entfernt. Aehnlich verfährt Mackay in Liverpool, P. Effertz in mnitz dagegen hängt Schläuche in die Gefrierzellen, Fig. 317, welche ihrer tiefsten Stelle mit einem Saugventil v und in der Mitte mit hreren durch umgelegte Gummiringe gebildeten Druckventilen v_1, v_2 ven- en sind. Auf diese Weise saugt eine Pumpe das Wasser unten an und

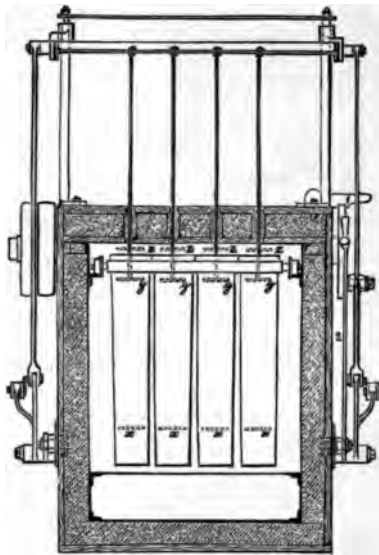


Fig. 314.

giebt es bei den Druckventilen wieder ab, so eine Circulation bewirkend. W. Raydt in Hannover wendet einen Wasserstrahlapparat zur Entlüftung an.

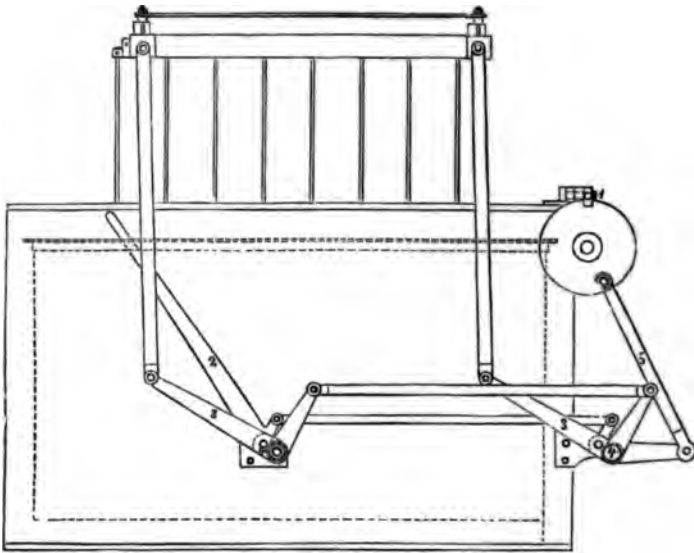


Fig. 315.

Immerhin hat es seine grossen Schwierigkeiten, durch solche mechanische Mittel wirklich luftfreies Eis zu erzeugen, und ist es auch bislang wohl kaum gelungen. Das einzige Radikalmittel zur Herstellung wirklich luftfreien Krystalleises ist das Gefrieren von destillirtem Wasser. Weil bei Absorptionsmaschinen das zu destillirende Wasser als wärmeaufnehmendes Mittel vor der Destillation für die abzuführende Wärme, und nach der Destillation als wärmeabgebendes Mittel für die aufzunehmende Wärme dienen kann, so stellt sich die Destillation mit verhältnissmässig geringen Kosten bei diesen Maschinen her. Man findet aus diesem Grunde Absorptionsmaschinen noch immer viel in Eisfabriken angewendet, wo man Erzeugung von Krystalleis verlangt. Siehe auch Seite 186 bis 188.

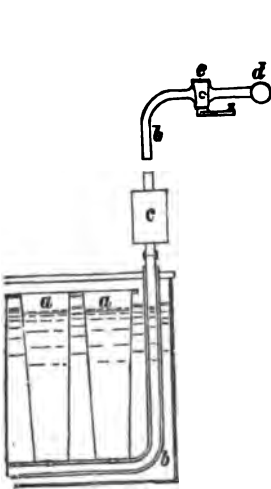


Fig. 316.

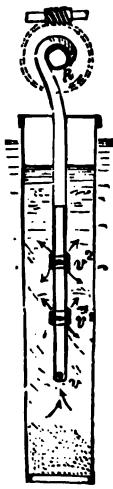


Fig. 317.

6. Anlage in der Aktienbierbrauerei St. Pauli in Hamburg.

Die Anlage ist ganz in sich abgeschlossen und dient sowohl zur Eisfabrikation, als zur Wasserkühlung der Würze und der Gährungsflüssigkeit, sowie zur Luftkühlung der Gärkellerräume. Sie ist in einer Grösse erbaut, dass sie

- a) die Luftkühlung der Gärkeller von circa 1100 qm ermöglicht,
- b) die Kühlung der Würze auf den Kühlapparaten und
- c) mittels Schwimmern in den 160 Gährbottichen bewirkt, und
- d) alle überschüssige Kälte zur Eisfabrikation abgegeben wird, wobei sie in 24 Stunden reichlich 400 Centner Eis producirt.

Der ganze maschinelle Betrieb befindet sich in einem salonartigen Bau untergebracht, und zeigen die Figuren 318 und 319 die Anordnung. Der Betrieb lässt sich von einer einzigen Stelle aus leicht übersehen, und auch ich war, sobald ich den Raum betrat, sofort orientirt.

Er befindet sich neben den Kühlschiffen, hat eine Grundfläche von 15 mal 15 m und eine Höhe von etwa 10 m, ist mit grossen hohen Fenstern mit doppelten Scheiben versehen, die den Raum sehr gut erleuchten, aber Luftcirculation resp. Erwärmung von aussen einschränken. Oben läuft eine Gallerie um einen Theil der Umfassungswände, so dass man auch zu allen Theilen der Transmissionswellen und Lager bequem hinzukommen kann.

Fig. 318.

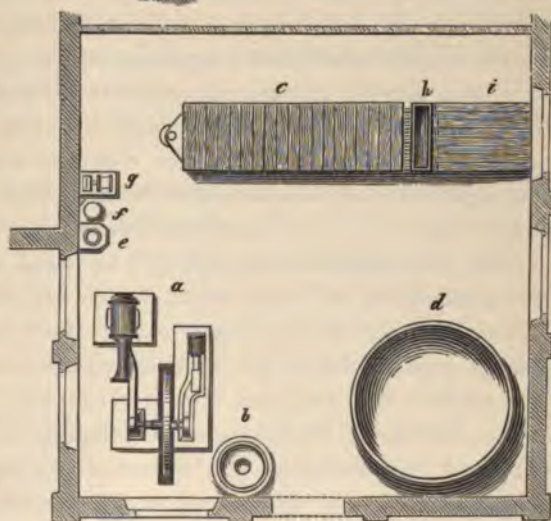
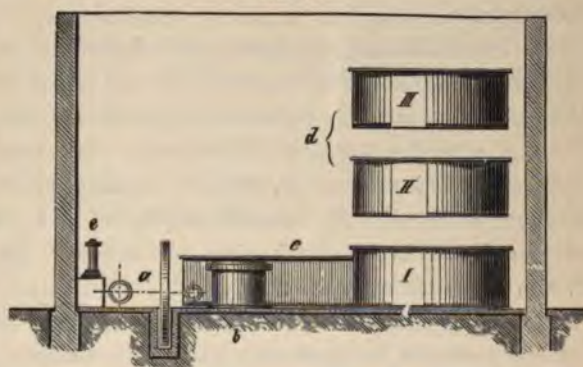


Fig. 319.

Tritt man von dem Brauereihof durch das Thor in den Raum, so liegt links die Dampfmaschine, und mit ihr gekuppelt die Ammoniak-Kompressionspumpe. Vor uns liegt der Eiserzeugungskasten mit der Chlorkalciumlösung und den Gefrierzellen.

Rechts sind drei grosse runde Wasserreservoirs übereinander angeordnet, welche für die Würze- und Gährbottichkühlung dienen.

Zwischen Dampfmaschine und Eiskasten steht ein Ammoniak-Destillirapparat und eine rotirende Pumpe, um die Circulation der Chlorkalciumlösung vom Eiskasten nach der Röhrenleitung der Kellerkühlung zu besorgen.

Der Eiskasten, ein grosser schmiedeeiserner Behälter, der zum Schutze gegen die umgebende warme Luft mit einer Holzschalung umgeben ist, ist im Innern mit den Gefrierzellen versehen, welche von der Chlorkalciumlösung umspült werden. Durch die Chlorkalciumlösung ist die Kühlschlange hindurchgeleitet, welche von den kalten Ammoniakdämpfen durchströmt wird. Ueber dem Eiskasten ist ein Laufkrahnen angebracht, mit dessen Hülfe durch einen einzigen Arbeiter die gefrorenen Zellen reihenweise ausgehoben und transportirt werden. Am rechten Ende des Eiskastens schliesst sich ein schmales eisernes Bassin von der Breite des ersteren an, in welchem mit Hülfe von warmem Wasser die Eisblöcke von den Wänden der Gefrierzellen durch Abthauung losgelöst werden.

Die mittels Laufkrahnen ausgehobenen Eiszellen werden von demselben nach diesem Kasten transportirt, eingetaucht und nach der Abthauung ausgehoben, auf eine schiefe Ebene ausgeschüttet, welche durch die Mauer des Gebäudes läuft. Die Eisblöcke rutschen auf diese Weise ihrem Bestimmungs- und Aufbewahrungsorte zu. Wie man sieht, ist dies ein kontinuierlicher in sich zusammenhängender Betrieb.

Die Gährkellerkühlung erfolgt in ganz anderer Weise, als dies früher geschehen, und z. B. unter 3. bei der Anlage von Herrn Dreher in Triest beschrieben ist. Dort wird die Luft aus dem Gährkeller direkt angesaugt und durch einen Luftkühlapparat, in welchem die Luft der Kühlflüssigkeit sich entgegen bewegt, abgekühlt und in den Keller zurückgeführt. Durch die in Folge der Absaugung im Keller entstehende Luftverdünnung tritt indessen von aussen durch Oeffnungen und Wände so viel Luft hinein, dass der Betrieb nicht sehr ökonomisch ist.

Hier geschieht, wie überhaupt in den neueren Linde'schen Kellerkühlanlagen die Abkühlung der Luft im Keller mittels eines Röhrensystems, in welchem die Chlorkalciumlösung, welche von dem Eiskasten abgeleitet wird, circulirt. Die oben erwähnte rotirende Pumpe besorgt den Kreislauf der Lösung.

An der Decke des Gährkellers laufen eine Anzahl Röhren hin und her, und zwar gehören zu jedem Kühlsystem circa sechs Rohrleitungen,

an deren Oberfläche sich die Kellerluft abkühlt. Die Röhren haben einen Durchmesser von circa 5 cm, und kann jede für sich durch einen Hahn abgesperrt werden.

Zur Durchführung der Würzekühlung sind die drei Wasserreservoirs, wie schon oben erwähnt, axial über einander im Maschinenraume aufgestellt. Ihr Rauminhalt ist je circa 400 Hektoliter. Das Wasser des unteren Bassins wird durch die Kälteerzeugungsmaschine auf $+ \frac{1}{2}^{\circ}$ bis 1° abgekühlt. Ein Rührwerk vermischt möglichst innig die Wassertheile verschiedener Temperatur. Eine Pumpe befördert das Wasser in das Bassin *III*, das zu oberst steht. Von da aus fließt es durch die Rohrleitung in den Gärkeller und durch die einzelnen in die Bottiche eingeschalteten Gärbottichkühler, um von dort angewärmt wieder zurück nach Bassin *II*, und zwar durch den hydrostatischen Druck des höher gelegenen Bassins *III*, zu gehen. Alsdann fließt es zur neuen Abkühlung nach Bassin *I*.

Zur Speisung der im Gärkeller aufgestellten Lawrence'schen Oberflächen-Berieselungskühler wird ebenfalls Wasser aus Bassin *I* resp. *III* benutzt; doch fließt dieses zunächst in ein im Gärkeller hoch gestelltes Zwischenreservoir, passiert dann die Kühlapparate und wird dann mittels der Pumpe nach Bassin *II* befördert.

Diese Anordnung ist aus dem Grunde getroffen, um den Lawrence'schen Kühler keinem hohen inneren Druck auszusetzen, der in der Hauptleitung der Würzekühlung mindestens eine Atmosphäre beträgt. Uebrigens wird mir mitgetheilt, dass die Lawrence'schen Kühler dem Drucke probeweise sehr gut ohne Nachtheile widerstanden haben.

7. Kellerkühlung von der Halle'schen Maschinenfabrik vorm. Vaass & Littmann in Halle a. S.

wie sie von dieser Firma bei Oswald Berliner in Berlin, in der Flensburger Aktienbrauerei in Flensburg und bei A. Bodenstein in Magdeburg ausgeführt ist, ist in den Figuren 320 und 321 dargestellt, während Fig. 322 eine solche complete Anlage in kleinerem Maassstabe vor Augen führt.

Es ist schon früher ausgeführt worden, dass diese Raumkühlung durch Rohrsysteme ursprünglich von Linde herrührt. Auch ist sie bereits im Jahre 1880 von Galland in Frankreich mit Erfolg eingerichtet worden.

In den Kellern befindet sich ein dem Raume angepasstes Röhrennetz, durch welches kalte Flüssigkeit geleitet wird. Das Röhrennetz ist an der Decke angebracht, wie aus den Abbildungen ersichtlich ist, und zwar für Lagerkeller an der Decke ausgebreitet, während sie für Gärkeller zwar auch an der Decke, aber mehr zwischen den Gärbottichen hängen. In der Eismaschine wird die Flüssigkeit beständig abgekühlt, welche un-

unterbrochen durch das Röhrennetz circulirt, in welchem eine Pumpe den Kreislauf vermittelt. Auch hier eignet sich am besten als circulirende Flüssigkeit eine Chlorkalciumlösung, welche in der Kälteerzeugungsmaschine auf -8°

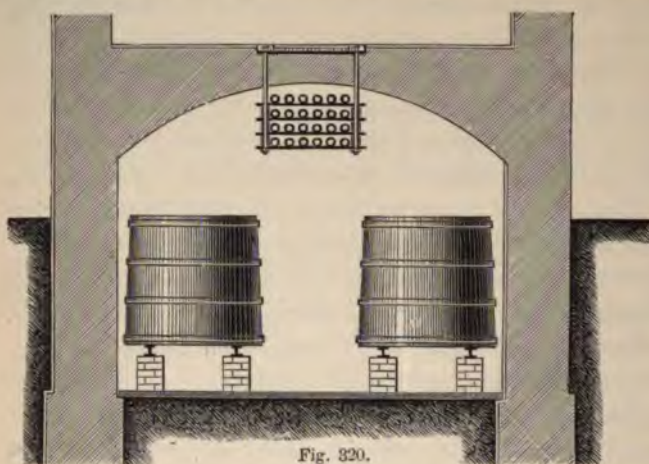


Fig. 320.

abgekühlt wird, nach dem Röhrennetz in den Kellern geleitet wird, dann mittels der erwärmten Pumpe angesaugt und nach der Kälteerzeugungsmaschine zurückgeführt wird, wo sie sich von Neuem abkühlt. Durch diesen Kreislauf

werden die Keller auf der erforderlichen Temperatur von 1° bis höchstens 3° gehalten.

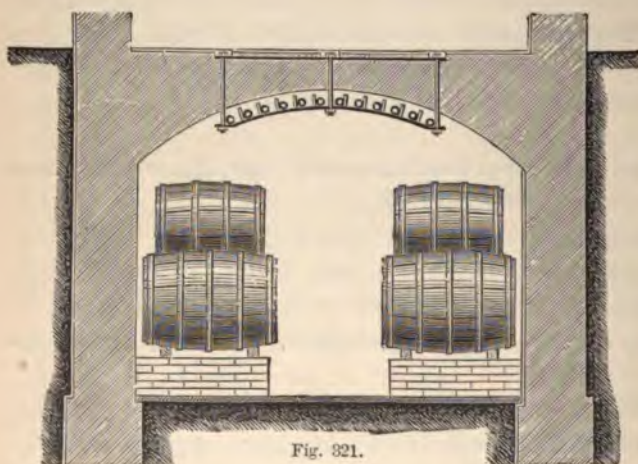


Fig. 321.

In der Fig. 322 ist, wie bemerkt, eine ganze derartige Anlage dargestellt, und zwar bezeichnet *A* den Ammoniakessel der Eismaschine, *B* den Kondensator, *C* das Gasgefäß, *D* den Eisbildner, *E* die Einsaugungsvase, *F* die Ammoniakpumpe, *G* den

Wasserkühlkasten, sämtlich Theile der Kälteerzeugungsmaschine.

H ist die Wasserpumpe, *J* der Bierkühler, *K* die rotirende Chlorkalciumpumpe, *M* Wasserreservoir für warmes Wasser, *N* Kühlwasserreservoir, *O* Kaltwasserreservoir, *P* Wasserkasten, *R* Kühlschiff, *T* Gäbottiche mit den Kühlcylindern.

Der Betrieb ist nun folgender:

Das zu kühlende Wasser läuft von dem Kasten *M* durch das Rohr *1* nach dem Wasserkühlkasten *G* der Kälteerzeugungsmaschine, wo es sich bis auf $+1^{\circ}$ abkühlt, und steigt durch das Rohr *2* nach dem Kaltwasser-

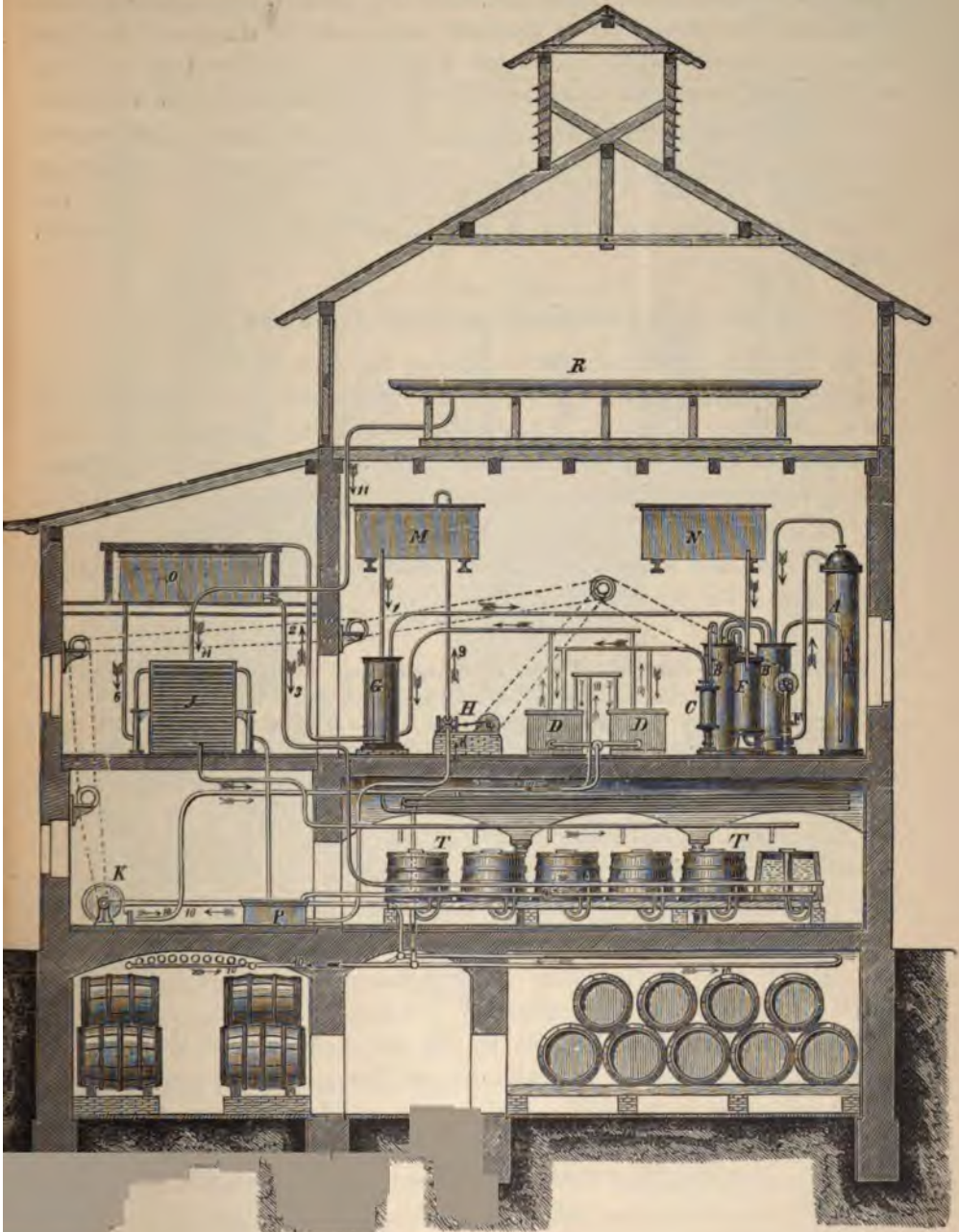


Fig. 322.

reservoir *O*. Von diesem Reservoir vertheilt es sich nach Bedürfniss durch die Röhren *3* nach den Gärbottichkühlern, durch das Rohr *6* nach dem Bierkühler *J*. — Hat das Wasser seine Kälte abgegeben, so sammelt es sich in dem Wasserkasten *P*, von wo es mittels der Pumpe *H* nach dem Wasserreservoir *M* geschafft wird und von da seinen Kreislauf fortsetzt. Die Bierwürze läuft vom Kühlschiff durch das Rohr *11* nach dem Bierkühler *J*, und von da durch das Rohr *12* nach den im Gäbkeller befindlichen Bottichen. Die Abkühlung der Luft wird hervor gebracht, indem das Chlorkalcium aus dem Eisbildner *DD* nach dem Röhrennetz der Gähr- und Lagerkeller, durch die Röhren *10* läuft, von da nach der rotirenden Pumpe *K*, um es wieder nach dem Eisbildner zu schaffen.

8. Eine Keller-Kühlanlage von Oskar Kropff in Nordhausen

ist in Fig. 323 abgebildet, und zwar zeigt der obere Theil die Absorptions-Kälteerzeugungsmaschine, der untere Theil die Gähr- und Lagerkeller, an deren Gewölben ebenfalls die Schlangenrohrleitung angebracht ist, die in ähnlicher Weise wie oben mit der erwähnten Maschine in Verbindung steht. Die Resultate sind denn auch ähnliche wie bei vorstehender Anlage.

An den Röhren in den Kellern setzt sich das Wasser der Kellerluft in Form von Reif und Schnee ab, so dass die Luft gleichzeitig auf diese Weise neben der Kühlung getrocknet wird.

9. Die Vacuum-Eismaschine des Internationalen Vacuum-Eismaschinen-Vereins zu Berlin in dessen Eisfabrik in Wien.

Die Maschine selbst ist bereits in Fig. 9 abgebildet und auf Seite 23 beschrieben. In Wien ist nun vor einiger Zeit eine Eisfabrik mit einer solchen Maschine in Betrieb gesetzt, die stündlich 1000 kg Eis producirt. Ich folge dem Berichte des Herrn Prof. Th. Langer in der Allgemeinen Zeitschrift für Bierbrauerei und Malzfabrikation in der Nr. 1 vom 3. Januar 1883 und entnehme derselben auch die hierbei abgedruckten Figuren.

„Dieselben bringen diese Maschine in Fig. 324 bis 326 im Aufriss und in Fig. 327 im Grundriss zur Anschauung. Die Luftpumpe *D* ist durch das Rohr *c*₁ mit dem Absorber *C* luftdicht verbunden, zu beiden Seiten des letzteren befinden sich je drei Eiscylinder *A*, welche durch die Verbindungsrohre *B* mit dem Absorber in Kommunikation stehen. *b*₁*b*₂ stellen verschliessbare Ventile vor, welche nöthigenfalls die Absperrung der Eiscylinder vom Absorber und damit auch von der Pumpe gestatten. *F* ist ein Reservoir für concentrirte, *k* für verdünnte Schwefelsäure.

Der Einlauf des zu gefrierenden Wassers in die Eiscylinder erfolgt am Grunde der über denselben stehenden Behälter *a* 1—6 mittels eines

an einer Gradtheilung bequem einstellbaren Hahnes, das überschüssig durch die Röhren a_8 zulaufende Wasser fließt aus einer am Rande des Behälters angebrachten Oeffnung ab. Um das Zufrieren der Hahnöffnung zu verhindern, lässt man das Wasser durch bis zu dieser Oeffnung reichende Trichter a einfließen.

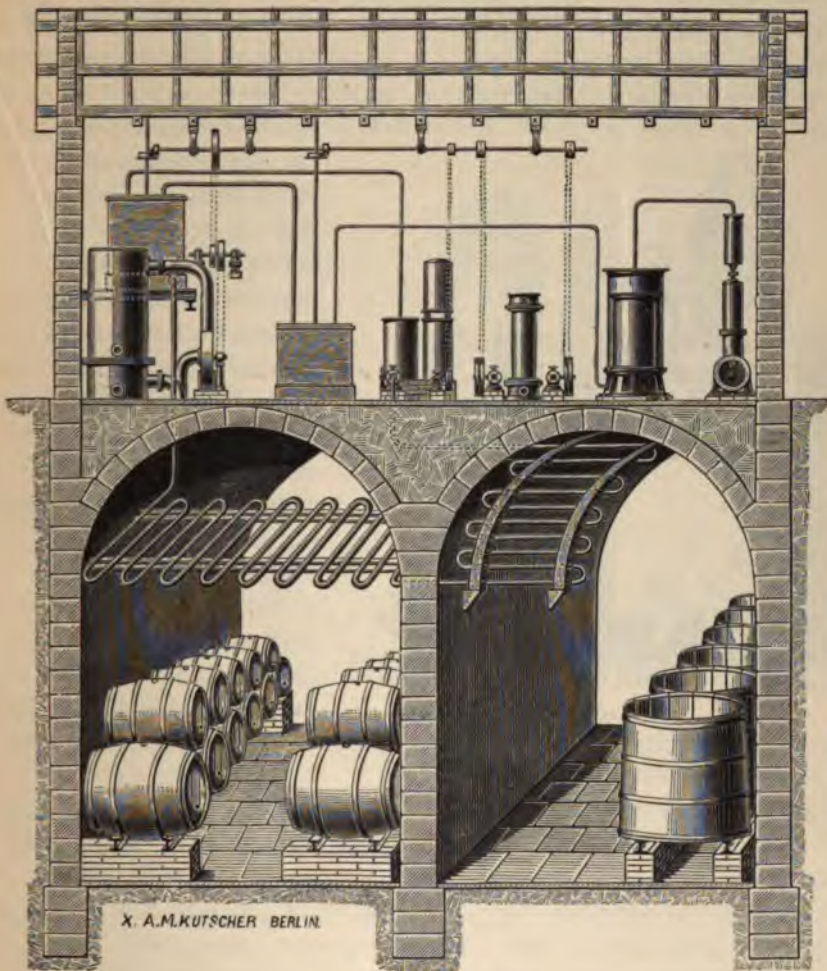


Fig. 323.

Hat die Verdünnung der Luft im Absorber C und in dessen sechs Eiscylindern B den höchsten Grad erreicht und zeigt das Manometer nur noch die minimale Höhendifferenz von 1—2 Millimeter Quecksilbersäule, so lässt man durch Oeffnen der Hähne an der Wasserzulaufrohre a_8 die Behälter sich füllen und stellt die regulirbaren Einlaufhähne an der Gradtheilung ein. Das Wasser fließt in dünnem Strahle in die evacuirten

Eiscylinder ein, verdampft während des Falles zum Theile und entzieht sich bei dieser rapiden Verdampfung selbst so viel Wärme, dass der im Cylinder verbleibende Wasserrest gefriert. Die in einem Charniere gehende, luftdicht angeschraubte Bodenplatte des Cylinders bedeckt sich zuerst mit Eis, das kontinuierlich an Dicke (Höhe) zunimmt. Gegen Ende der Charge, wo die Fallhöhe des einfließenden Wassers schon gering geworden ist, wächst das Eis nur sehr langsam. Man schliesst den Wasserzulauf bei a_8 ab, schliesst ferner die Ventile b_2 , um bei der nun folgenden Entleerung der Eiscylinder das Vacuum im Absorber zu schonen. Ein Arbeiter löst die Verschraubung an den Bodenplatten, noch fallen nicht die Eisblöcke aus den nach oben konisch zulaufenden Cylindern, erst durch Einströmen von Wasserdampf zwischen den Doppelwänden der Cylinder lösen sie sich und stürzen einer nach dem anderen unter donnerähnlichem Getöse in untergestellte hölzerne Kübel. Ein bereit gehaltener Wagen bringt die Blöcke nach dem Vorrathskeller, wo das Eis durch Sägen zertheilt und bis zum Verkaufe deponirt wird.

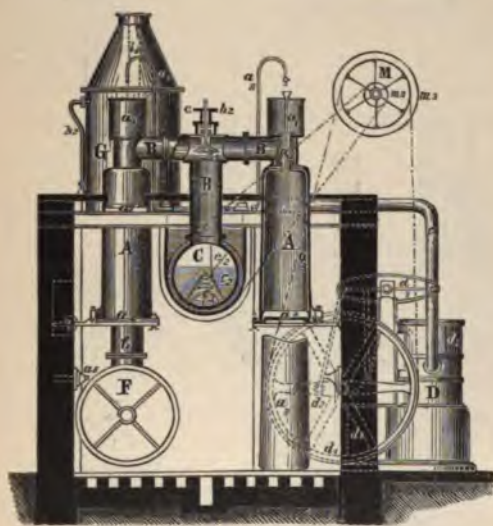


Fig. 324.

Zur Zeit, als ich die Fabrik

besichtigte, warteten die bespannten Wagen der Abnehmer von Charge zu Charge.

Die täglich producirbare Eismenge beträgt bei der in Rede stehenden Vacuum-Eismaschine pro Stunde circa 1000 kg. Das fertige Eis ist äusserlich von dem künstlichen Eise der Ammoniak-Eismaschine verschieden, es ist weniger kompakt und durchscheinend, grobkörnigem Zucker ähnlich.

Nach der Entleerung der Eiscylinder werden deren Bodenplatten sofort luftdicht angeschraubt, die Ventile b_2 geöffnet, und mit der neuerlichen Evacuirung der Eiscylinder nimmt die nächste Charge ihren Anfang. Die Luftpumpe hat nun vollauf zu thun (8 Pferdekräfte), bis sie die sechs grossen Cylinder fast luftleer gemacht hat; während des Eisbildungsprozesses, wo es sich nur um die Absaugung der Wasserdämpfe und um die Entfernung der im einströmenden Wasser befindlichen Luft handelt, ist ein ungleich geringerer Kraftaufwand (1 Pferdekraft) nothwendig.

Wir sehen in der Zeichnung eine Hilfsanlage *G, I, H, K*, welche ausschliesslich für die Behandlung der in den Betrieb eingeführten Schwefelsäure dient. Durch den wiederholten Gebrauch als Absorptionsmittel verliert sie an Leistungsfähigkeit, ihre Konzentration sinkt nach vier Chargen von 60° B. auf 55° B.

Im Konzentrator *G* wird die dünne Säure in sehr rationeller Weise wieder diensttauglich gemacht. Die Erhitzung der Säure geschieht durch gespannten Dampf aus dem Kessel; derselbe strömt in ein System von Schlangenröhren *g*, giebt hier einen kleinen Bruchtheil seiner Wärme an die zu konzentrirende Säure ab und streicht dann erst nach dem Dampfzylinder der zum Betriebe der ganzen Anlage dienenden Maschine. Der geringe Wärmekonsum im Konzentrator reicht aber auch nur dadurch aus, dass in demselben durch eine besondere Luftpumpe *J* ein luftverdünnter Raum erzeugt wird. Es geht die Wasserabgabe der Schwefelsäure bei ungleich niedrigerer Temperatur von statten. Das erzeugte Vacuum im Konzentrator nutzt der Erfinder auch noch dazu aus, einen kontinuierlichen Zulauf durch Ansaugen der dünnen Säure in die Rohrleitung *h¹*

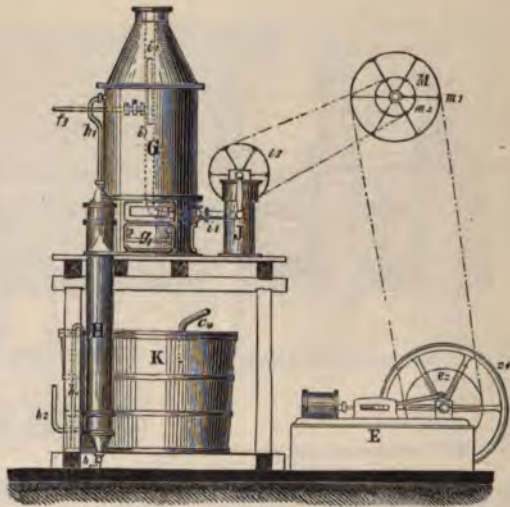


Fig. 325.

aus dem Reservoir *K* nach *G* zu bewerkstelligen, andererseits musste für den stetigen Ablauf der konzentriert gemachten Säure aus *G* gesorgt werden. Dieser Ablauf erfolgt durch *h₂* nach dem Reservoir *F*, aus dem der Absorber sich die konzentrierte Säure (auch durch sein Vacuum) holt. Die beiden Säureströme begegnen sich im Temperatur-Ausgleichsapparat *H*. Die heisse konzentrierte Säure läuft durch ein System vertikaler Röhren, welche von der aufsteigenden dünnen und kalten Säure umspült werden. Auf diese Weise kühlt sich die brauchbar gemachte Säure in zweckdienlicher Weise ab und die zu konzentrirende Säure wird angewärmt.

So viel über das Princip und die maschinelle Einrichtung der Anlage des Internationalen Vacuum-Eismaschinen-Vereins, eine Sache für sich ist die ökonomische Seite der Unternehmung. Auch darüber stehen mir Daten von kompetenter Seite zur Verfügung.

Die Ersetzungskosten der Vacuum-Eismaschine ohne Dampfmaschine betragen bei einer stündlichen Produktion von circa 1000 kg inclusive Montirung circa 24000 fl. ö. W.

An Brennmaterial sind 8,6 kg Ostrauer, sogenannte Nusskohle zur Erzeugung von 100 kg Eis nothwendig, dabei treibt der zur Bedienung der Luftpumpe nöthige Dampf auch noch eine Wasserpumpe, welche sämtliches Verbrauchswasser aus einem 8 m tiefen Brunnen hebt.

An Wasser wird zur Gewinnung von 100 kg Eis $8\frac{1}{2}$ bis $9\frac{1}{2}$ Hektoliter nothwendig, darin sind sämtliche Kühl- und Kondensationswässer, als auch Kesselspeisewasser mit einbegriffen.

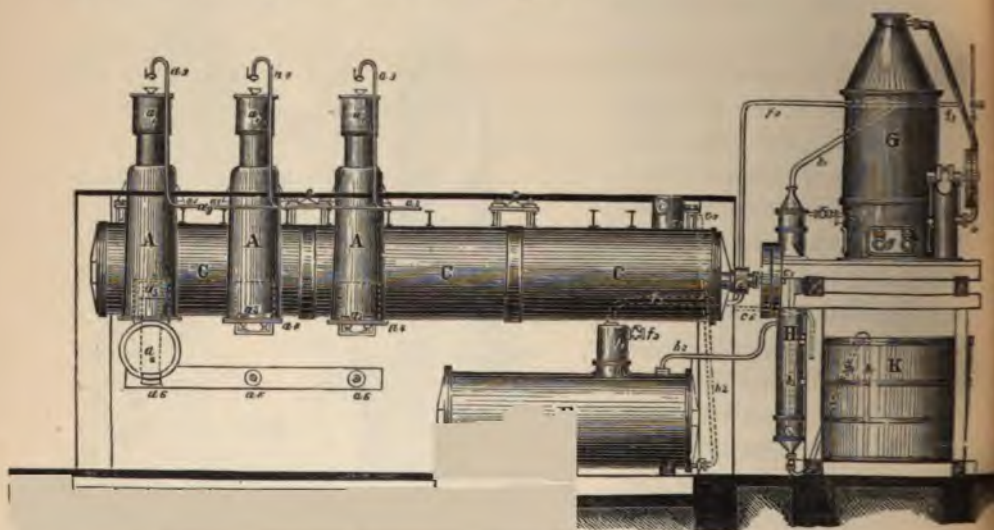


Fig. 326.

Der Preis des metrischen Centner Maschineneises lässt sich unter der Voraussetzung, dass eine Dampfmaschine zur Verfügung steht, annähernd folgendermaassen berechnen.

Die Vacuum-Eismaschine besitzt eine Leistungsfähigkeit von 10 metrischen Centnern pro Stunde, bei unausgesetztem Betriebe durch 360 Tage lässt sich jährüber ein Eisquantum von 86400 metrischen Centnern erzeugen. Die dafür entfallenden Kosten von circa 12000 fl. vertheilen sich unter Zugrundelegung hiesiger Preise und Löhne:

5 Proc. Zinsen und Anschaffungspreise der Eismaschine (ohne Dampfmaschine und Wasserpumpe)	1200 Gulden
10 Proc. Amortisation	2000 "
Kohleverbrauch	7500 "
Arbeitslohn für 2 Mann Bedienung	1080 "
Beleuchtung, Schmieröl u. a. m.	200 "
Summa	11980 Gulden.

Demnach stellt sich 1 metrischer Centner Eis auf circa 14 Kreuzer ö. W. Wenn dagegen nur innerhalb einiger Monate im Bedarfsfalle, etwa vom 1. Oktober bis zur Einfuhr von Natureis nach Weihnachten, künstliches Eis erzeugt wird, so steigt der Preis für den metrischen Centner von 14 auf 23 Kreuzer ö. W. (100 Arbeitstage angenommen). Unter den hiesigen Verhältnissen scheint mir die Aufgabe der Vacuum-Eismaschine in den Brauereien darin zu liegen, das Manipulationseis für Würzekühlung und für die Gärkeller (Schwimmer) gewinnen zu lassen, was natürlich bei mildem Winter besonders ins Gewicht fällt.“

Die Anlage ist jetzt veraltet, ist aber interessant genug, um hier dargestellt zu werden.

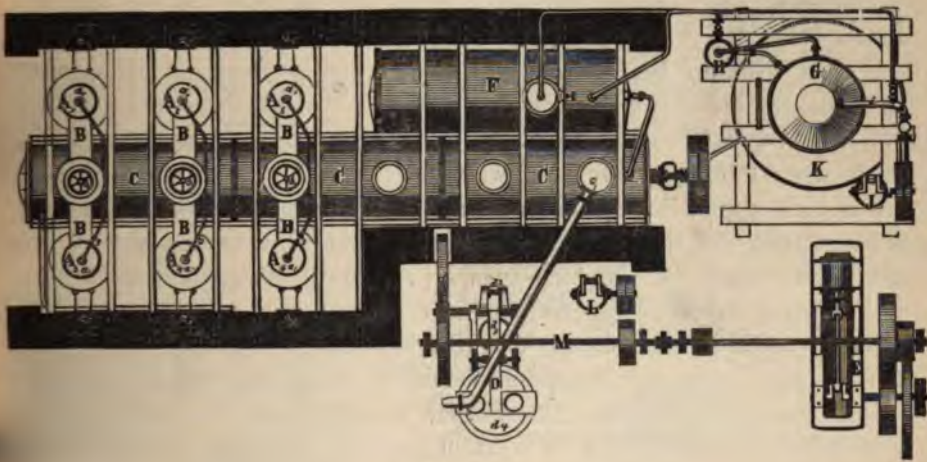


Fig. 327.

10. Anlage von der Maschinenfabrik Germania in Chemnitz in der Exportbierbrauerei „Phönix“ in Dortmund.

Eine bemerkenswerthe Anlage ist von der Maschinenfabrik Germania in Chemnitz mit einer Kältemaschine nach den Osenbrück'schen Patenten in der Exportbierbrauerei Phönix in Dortmund hergestellt worden, deren nachstehende Beschreibung einer Veröffentlichung des Herrn Prof. Alois Schwarz in der Allgemeinen Brauer- und Hopfenzeitung entnommen ist.

„Die Verwendung der Osenbrück'schen Kälteerzeugungsanlagen besteht wie bei den meisten der angewendeten Systeme in der direkten Kühlung der Lager- und Gärkeller, der Kühlung der Hauptgärungen in den Bottichen, sowie der Bierwürze und endlich in der Fabrikation von Eis. Die Kühlung der Lager- und Gärkeller wird in ganz gleicher Weise wie bei dem durch Professor Linde zuerst eingeführten Kühlsysteme dadurch bewirkt, dass an der Decke oder den Gewölben dieser

Räume Rohrleitungen angebracht sind, in welchen die in der Maschine auf -5 bis -6° C. gekühlte Salzlösung circulirt. Die Rohre kühlen die oberen Luftschichten ab, diese sinken in Folge ihrer grösseren Dichte nach unten und machen wärmeren Luftschichten Platz, so dass eine Circulation der Luft entsteht, welche einen gleichmässigen Austausch der Temperatur ermöglicht. Die Salzlösung wird natürlich bei diesem Prozesse erwärmt, wird deshalb mittels einer Pumpe nach der Kühlmaschine zurückgeführt und aufs Neue abgekühlt, so dass ein beständiger Kreislauf der Salzlösung stattfindet. Die Temperatur der Keller ist an allen Punkten eine gleichmässige, und lässt sich die Regulirung derselben in einfachster Weise bewirken; die Kellerluft ist eine trockene, da sich die in derselben vorhandene Feuchtigkeit an den kalten Rohren als Reif niederschlägt.

Die Kühlung der Hauptgärungen in den Bottichen wird ebenfalls in gleicher Weise wie bei den Linde'schen Anlagen durch Circulation von auf nahezu 0° gekühltem Süsswasser bewirkt, welches durch Rohre nach dem Gärrkeller geleitet wird und sich in den taschen- oder schlangenförmigen Schwimmern vertheilt, welche in die Gärbottiche eingehängt sind. In diesen Kühlern giebt es seine Kälte an das Bier ab und geht sodann nach der Maschine zurück, um aufs Neue gekühlt zu werden.

Ebenso geschieht die Kühlung der Bierwürze durch gekühltes Süsswasser, welches man durch den Bierkühlapparat statt des Eiswassers fliessen lässt, was den besonderen Vortheil hat, dass die Kühlapparate nicht verschmutzt werden. Das für die Kunden oder den sonstigen Bedarf erforderliche Eis wird dadurch hergestellt, dass man zahlreiche mit reinem Wasser gefüllte Zellen in die kalte Salzlösung des Generators einhängt, und diese so lange darin lässt, bis das Wasser gefroren ist. Sie werden dann in warmes Wasser getaucht, um das Eis von den Wänden loszuthauen, und nachdem die Eisblöcke entleert sind, aufs Neue gefüllt und eingesetzt. Soll statt des auf diese Art erhaltenen trüben Eises Krystalleis erzeugt werden, so wendet man bei diesem Systeme ein neues Princip an. Bei Herstellung des gewöhnlichen Kunsteises scheidet sich nämlich die im Wasser der Gefrierzellen enthaltene Luft in zahlreichen kleinen Bläschen aus, welche mit einfrieren und dem Eise ein trübes Ansehen geben. Diese Bläschen werden durch Einblasen von Luft in die Gefrierzellen entführt und das luftfreie Wasser gefriert zu krystallhellen Blöcken, welche fester, härter und haltbarer als das gewöhnliche Kunsteis sind. Diese Methode der Entlüftung des Wassers zeichnet sich durch besondere Einfachheit aus.

Nach dieser allgemeinen Erörterung des Osenbrück'schen Systems der Kälteerzeugungsmaschinen soll nun die specielle Beschreibung der in der Phönixbrauerei ausgeführten Anlage folgen.

Diese Anlage besteht gegenwärtig in einem Kompressor von der Nr. 5, für einen Eisersatz von 20000 kg in 24 Stunden oder Calorien pro Stunde berechnet; ihre Disposition ist aus dem bei-

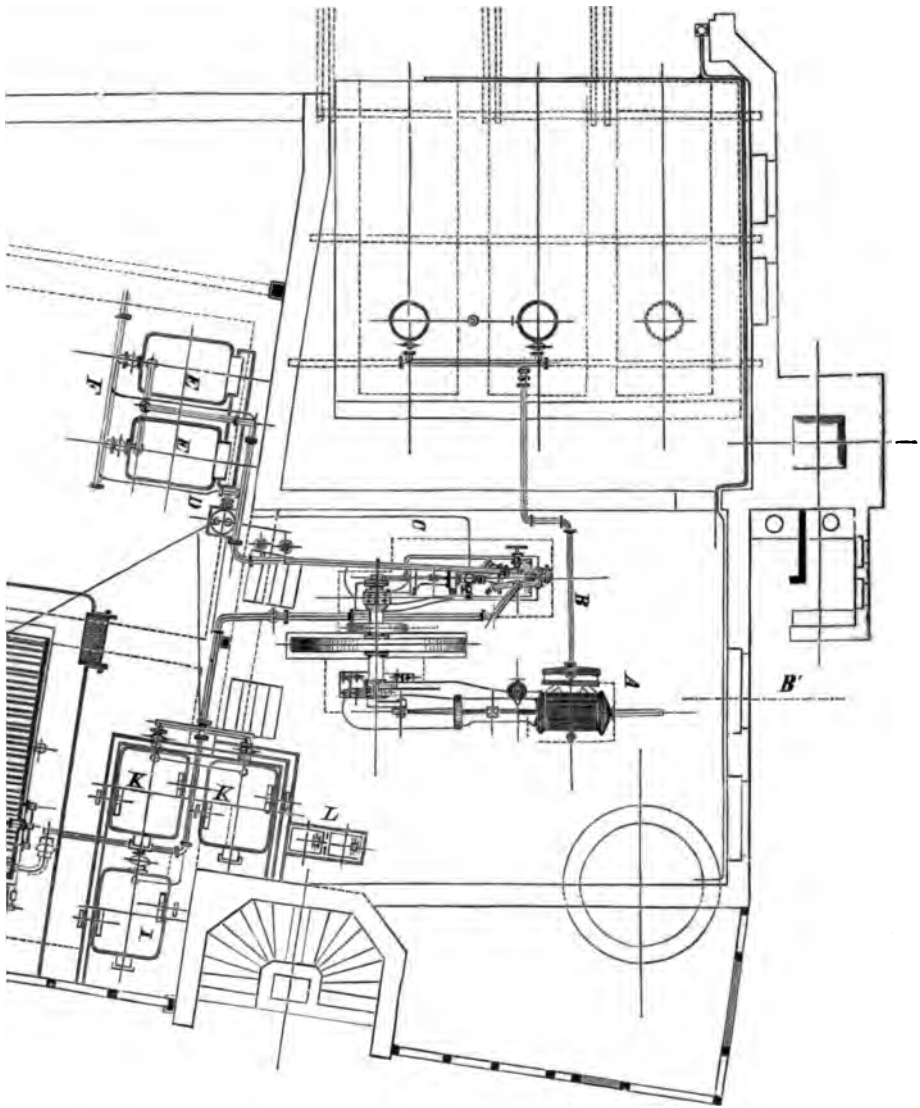


Fig. 328. Grundriss.

nen Grund- und Aufrisse (Fig. 328 und 329) ersichtlich; in nächster Zeit wird die Anlage durch Aufstellung eines zweiten Kompressors von gleicher Grösse ergänzt. Zum Betriebe des Kompressors werden von der vorhandenen Dampfmaschine circa 20 Pferdekräfte benötigt. Das kom-

primirte Ammoniakgas wird in zwei Kondensatoren verflüssigt; es sind dies rechteckige eiserne Kasten, 3 m hoch, 1,15 m lang und 1 m breit, mit 12 nebeneinander in parallelen Ebenen liegenden Kühlrohrschlangen; das erforderliche Kühlwasser, 60 bis 70 Hektoliter pro Stunde bei $+10^{\circ}\text{C}$., fließt unten zu und im erwärmten Zustande oben ab.

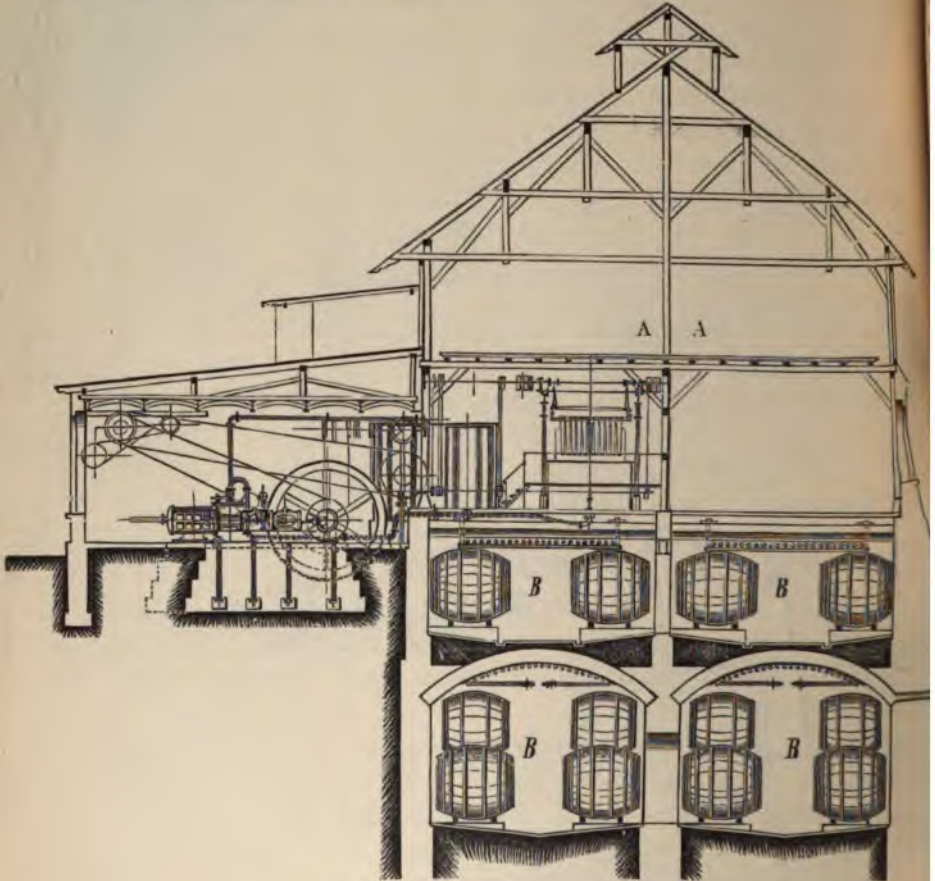


Fig. 329. Aufriss, Schnitt A—B des Grundrisses.

Die Kühlung des Salzwassers erfolgt im Eisgenerator, welcher ein 4,8 m langer, 2,8 m breiter und 1,5 m hoher eiserner, mit Holzkleidung isolirter Kasten bildet und fast genau die gleiche Einrichtung wie bei den Linde'schen Anlagen zeigt; er enthält 12 parallel laufende Rohrslangen, welche jedoch nicht bloss in der untern Hälfte des Generators, sondern in der ganzen Höhe desselben laufen; zwischen den Rohrslangen sind die Zellen, 17 Reihen zu je 12 Stück, eingesenkt; jede Zelle fasst 27 Pfund Eis. Die Circulation der Salzlösung wird durch

vier kurze, an beiden Längsseiten angebrachte Rührschrauben bewirkt. Das Ausheben und Entleeren der Eiszellen erfolgt durch den sehr zweckmässig funktionirenden Laufkrahnen, Patent Lippmann-Hugo, mit welchem man durch einfache Hebelstellung die Zellreihen an jeder Stelle des Generators heben und senken, sowie auch hin- und herfahren kann. Dieser Laufkrahnen, welcher in Fig. 330 abgebildet ist, wird durch einen endlosen Riemen (auch Drahtseil oder Kette) betrieben, welche auf Scheiben *D* und *E* gelagert sind; eine dieser Scheiben sitzt auf der Triebwelle fest. Der Laufkrahnen *A* trägt auf der Kurbel, bezw. Triebwelle *f* eine Riemenscheibe *C* und zwei Hebel *a* und *b*; diese Hebel besitzen je eine lose Spannrolle, *r* und *s*. Bei der Stellung *C*₁ der Hebel *a* und *b* wird der Riemen angespannt und der Krahnen rechts bewegt; bei der Stellung *C*₂ erfolgt eine Bewegung nach links, bei der Stellung *C* durch

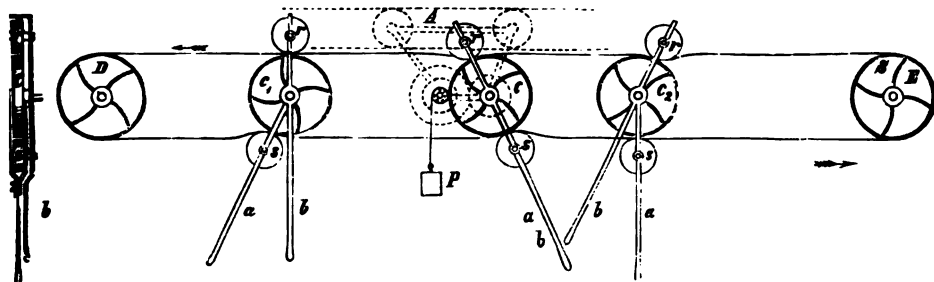


Fig. 330. Laufkrahnen zum Ausheben und Entleeren der Eiszellen, Patent Lippmann-Hugo.

einen besonderen Mechanismus ein Heben der Eiszellen, wie aus der Zeichnung leicht ersichtlich. Die Handhabung des Krahnen ist eine sehr einfache, und ist derselbe bei mehreren Eismaschinen, auch anderer Systeme, in Verwendung. Die im Generator gekühlte Salzlösung circulirt auch in den Kühlrohrsystemen der Gähr- und Lagerkeller und wird durch eine Centrifugalpumpe zurückgeschafft.

Die Kühlung des für Gährbottiche und Würze erforderlichen kalten Süsswassers erfolgt in drei Süsswasserkühlern, welche die gleiche Einrichtung und Grösse wie die Kondensatoren zeigen; auch hier erfolgt die Rückschaffung des verwendeten Kühlwassers durch eine Circulationspumpe.

Der zur Maschine gehörige, zur Erzeugung von Ammoniakgas aus Salmiakgeist dienende Destillationsapparat ist sehr einfacher Konstruktion, besteht aus einem Cylinder mit einer Dampfheizschlange im unteren und einer Kühlschlange im oberen Theile. Die zur Nachfüllung der Maschine während der ersten Betriebsmonate nöthigen Ammoniakmengen waren sehr gering.

Die Leistung der beschriebenen Anlage bestand in der Kühlung von 1200 qm Lagerkeller auf 1° und von 500 qm Gährkeller auf 4° durch

Salzlösung, in der Kühlung von 200 Hektoliter Würze pro 24 Stunden, sowie 75 Gärbottichen zu 35 Hektoliter mittels Süsswasser; überdies wurden 30 bis 40 Centner Eis pro 24 Stunden erzeugt.

Schliesslich ist zu bemerken, dass in dieser Anlage, welche eine der erstausgeführten des Systems Osenbrück ist, nach Mittheilung des technischen Direktors Betriebsstörungen nur selten in geringem Maasse aufgetreten waren.“

11. Kühlanlage der De la Vergne-Refrigerating-Machine-Company in New-York.

Die Figur 331 zeigt die Anordnung einer 100 Tons-Maschine mit zwei einfachwirkenden Kompressorcyllindern. Die Amerikaner bezeichnen die Leistung der Maschine nicht nach der effektiven Eiszerzeugung, sondern nach der Kapazität geschmolzenen Eises. Die wirkliche Eiszerzeugung ist um ein Drittel und mehr geringer. Die bezeichnete Fabrik fabricirt folgende Grössen:

Kompressoren	Dampfcylinder	Beanspruchte Kraft	Geleistete Kapazität in geschmolzenem Eis in 24 Stunden	Wirkliche Eiszerzeugung in 24 Stunden
Zoll engl.	Zoll engl.	Pferdekraft		
2 Stück 6" × 12"	1 Stück 9" × 12"	6 H. P.	4 Tons	2 Tons
2 " 8 × 16	1 " 12 × 16	12 "	9 "	5 "
2 " 9 × 16	1 " 12 × 16	15 "	12 "	6 1/2 "
2 " 10 × 20	1 " 16 × 20	25 "	18 "	10 "
2 " 12 × 24	1 " 18 × 24	42 "	32 "	18 "
2 " 14 × 28	1 " 22 × 28	66 "	50 "	30 "
2 " 16 × 32	1 " 26 × 32	100 "	75 "	45 "
2 " 18 × 36	1 " 32 × 36	140 "	100 "	65 "

Die Umdrehungszahl der Maschinen ist durchweg 36 pro Minute. Der Vergleich mit den deutschen Maschinen ist hiernach leicht zu bewerkstelligen. Die Figur zeigt eine Anordnung, in welcher die Kondensatoren, welche bereits auf Seite 200 beschrieben und abgebildet sind, eine Etage über den Kompressoren stehen. Das kleine Röhrenbündel an der rechten Seite ist der Oelkühler, durch welchen das Oel von den Kompressoren passirt, und in welchem es durch hinüberrieselndes Kühlwasser gekühlt wird, behufs Wiedereinführung in die Kompressoren mittelst der Oelpumpe. An dem einen Ende der Kondensatoren sieht man eine Anzahl kleiner Röhren, Flüssigkeitsröhren genannt, welche für jeden Kondensator sich in ein einziges Rohr von grösserer Weite vereinigen, genannt Flüssigkeitssammler. Dies ist deutlicher in Figur 331 zu erkennen, welche in Ansicht den ganzen Verlauf darstellt, wie das

Ammoniak und das Oel in den Maschinen circulirt. Die Flüssigkeits-
 öhren dienen zur Fortleitung des in den Kondensatoren flüssig gewordenen

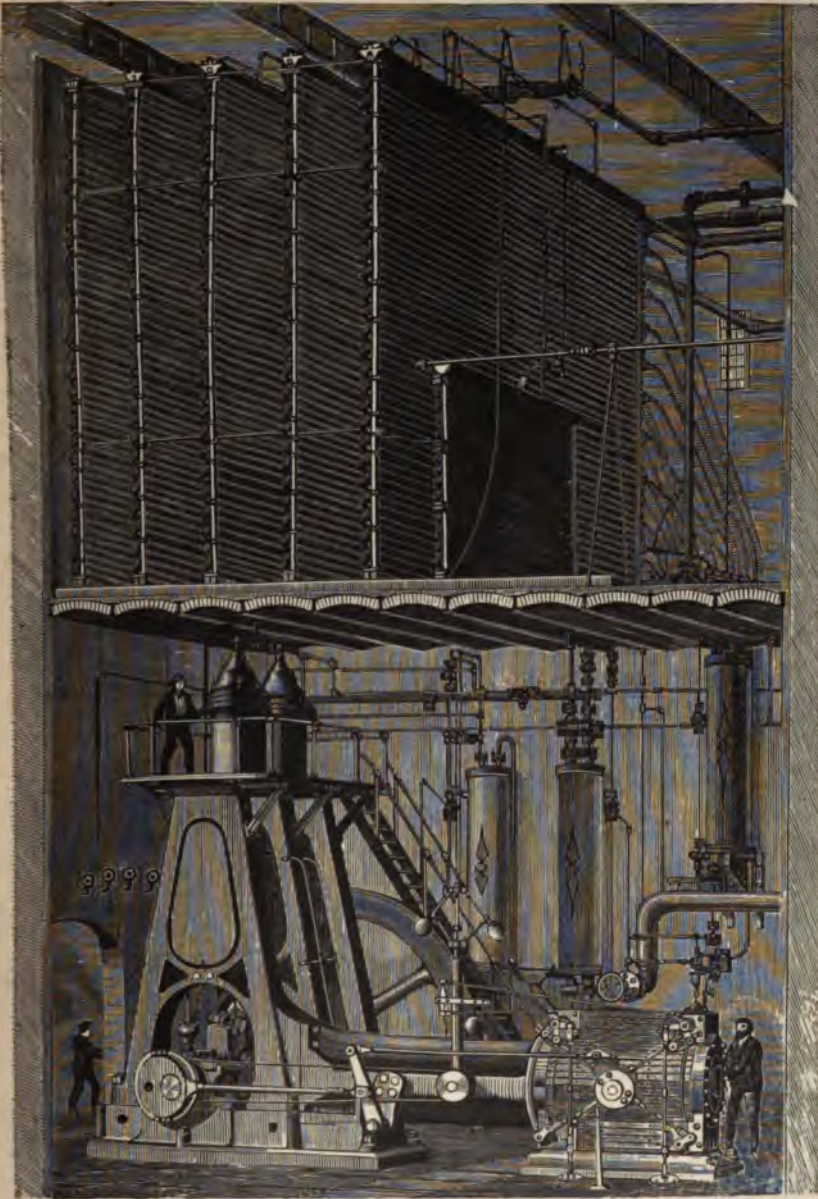


Fig. 331.

Ammoniaks, was bei der Art der Kühler, bei denen das Kühlwasser oben
 zu- und unten abläuft, in Sektionen geschehen muss.

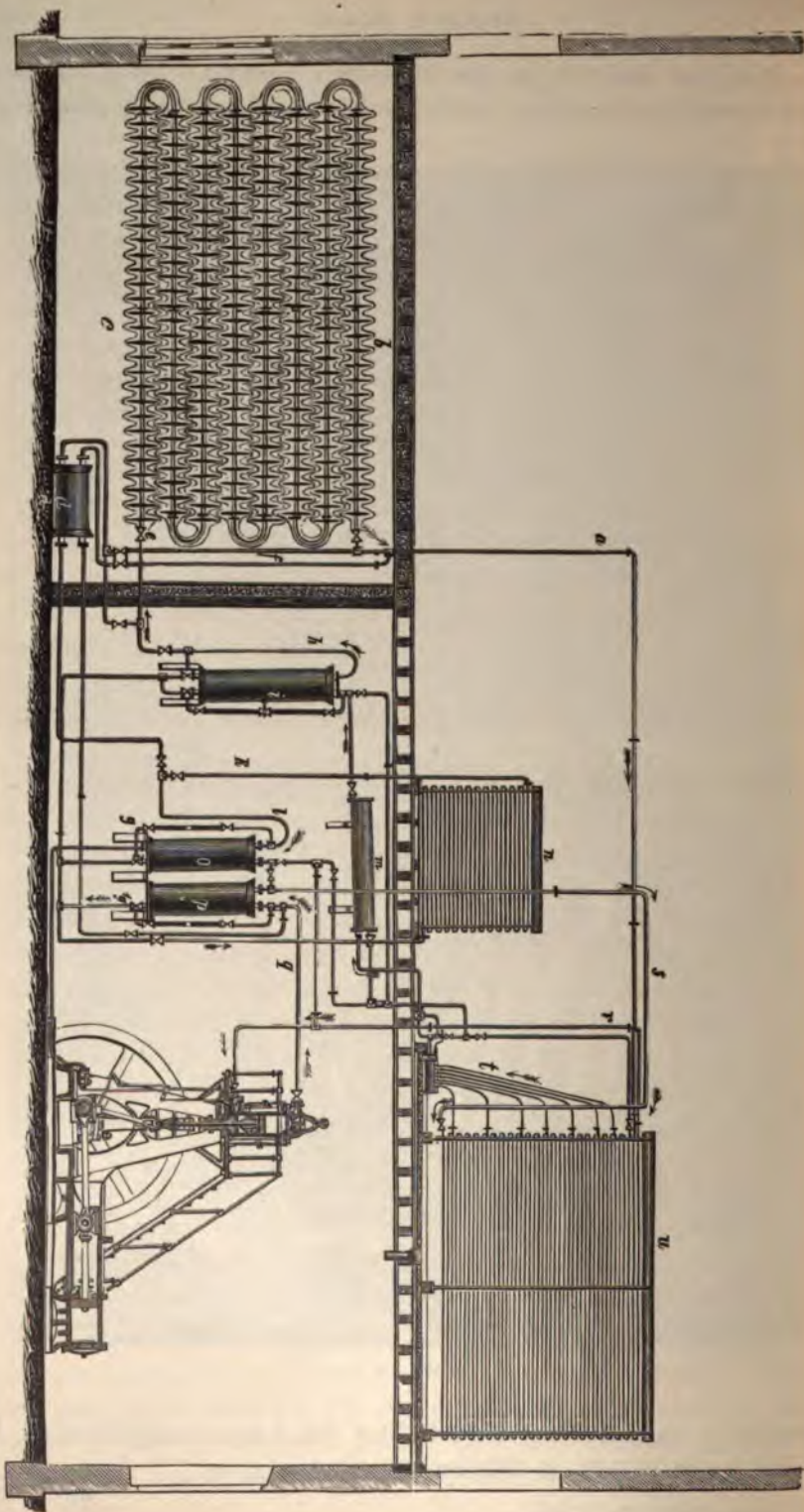


Fig. 332.

Als Nachtheil der sonst gebräuchlichen Kondensatoren gegenüber den hier angewendeten Berieselungskühlern wird angegeben, dass bei denen eine gewisse Schicht erwärmten Wassers sich um jede Rohrschlange bilde, welche an derselben mehr oder weniger fest anhaftet und den Zutritt ganz frischen Wassers verhindert; dass eine beträchtliche Menge Kühlwasser die Kondensatoren passire, ohne in irgend eine Berührung mit der Oberfläche der Ammoniakröhren zu kommen; dass undichte Stellen in den Röhren schwer entdeckt werden, weil das entweichende Gas von dem Wasser absorbiert wird ohne irgend ein äusseres Erkennungszeichen; dass endlich die im Wasser befindlichen Röhren weder beobachtet noch gereinigt werden können, wenigstens während des Betriebes nicht. Die Nachtheile der Berieselungskondensatoren sind dagegen bereits auf Seite 200 besprochen worden.

Aus Figur 332 ist zu erkennen, wie das Ammoniakgas und die Schmierflüssigkeit bei jedem Kolbenhub des Kompressors gemeinschaftlich zuerst in einen Cylinder gedrückt werden, in welchem sich das Oel am Boden absetzt, während das Ammoniakgas oben entweicht und in den Kondensator übertritt. Etwa noch mit dem Ammoniak durch den Kondensator mitgeführtes Oel setzt sich, nachdem es den horizontalen Sammler für flüssiges Ammoniak passirt hat, in einem darunter stehenden cylindrischen Behälter ab, in welchem sich durch die gezeichneten Rohrverbindungen die etwa noch in dem flüssigen Ammoniak enthaltenen Oelreste sammeln, während dasselbe aus dem Kondensator weiter geht. Aus diesem Reservoir wird das Oel von Zeit zu Zeit in den Oelsammler hinübergelassen. Das Schmieröl, welches in dem Trennungsgefäss sich absetzt, ist warm, weil es die während der Kompression im Kompressor entwickelte Wärme enthält, und wird behufs Abkühlung durch den schon erwähnten kleinen Oelkühler gedrückt, über welchen Kühlwasser rieselt. Nach der Abkühlung gelangt es ebenfalls in den Oelsammler, der in der Figur neben dem Trennungsgefäss aufgestellt ist. Von hier wird es durch die Pumpe in die Kompressoren zurück gedrückt, um denselben Kreislauf von Neuem zu machen. Durch Flüssigkeits-Höhenanzeiger kann der Stand des Oeles von aussen überall erkannt werden, und durch Hähne wird die Ueberführung und Regulirung vorgenommen.

Es ist bereits früher erwähnt, dass die De la Vergne Co. die Verlampfung des flüssigen Ammoniaks nicht in getrennten Verdampfern vornimmt behufs Abkühlung einer Salzlösung, im Falle Raumkühlung beabsichtigt ist, sondern dass sie Verdampferrohren direkt durch die zu kühlenden Räume leitet, um Kälteverluste zu vermeiden. In der Figur ist dies schematisch dargestellt. Es genügt auf diese Weise in den Röhren eine Spannung von 1,8 Atmosphären, entsprechend -10° C., während im anderen Falle eine Spannung von nur 1,25 Atmosphären im

Verdampfer erzeugt werden müsste, um die Salzlösung auf nur -8°C . abzukühlen. Da hierdurch ein stärkerer Gegendruck auf den Kolben des Kompressors wirkt, als im letzteren Falle, so ist der Kraftbedarf geringer. Auch die durch sonst lange Leitungen entstehenden Kälteverluste werden verringert, weil in der That die Kälte dort producirt wird, wo sie gebraucht wird. Die bei anderen Systemen üblichen Verdampfer, in welchen das Salzwasser zur Abkühlung gebracht wird, schliessen grosse Kälteverluste in Folge der Aufstellung an der Luft in sich, Kraftaufwand und Kälteverluste entstehen ferner durch das Pumpen und Befördern grosser kalter Salzwassermassen durch lange Rohrleitungen und dadurch entstehende Friktionen und Erwärmungen.

Durch diese durch die Keller geleiteten Röhrensysteme, in welchen das Ammoniak direkt verdampft, fällt die Salzlösung als Zwischenglied fort und es wird durch die grössere Temperaturdifferenz zwischen verdampfendem Ammoniak und Kellerluft eine grössere Wirkung erzielt. Man empfindet indessen auch in Amerika die Schwierigkeit, bei den langen ungeschützten Rohrleitungen absolute Dichtigkeit unter den allerdings nicht hohen Spannungen des verdampfenden Ammoniaks zu erhalten. Die feuchte Kellerluft schlägt beständig seine Dünste als Wasser auf den kalten Rohroberflächen nieder, wo sie gefrieren und die Röhren mit einer Eiskruste umgeben. Das ist der Fall ebensowohl bei den mit Salzwasser gefüllten Röhren, wie bei den Ammoniakverdampfungsrohren; bei beiden tritt endlich ein Beharrungszustand ein, nachdem die Eiskruste eine gewisse Dicke erlangt hat, die bei den Ammoniakröhren grösser ist als bei Salzwasserröhren. Ist der Beharrungszustand erreicht, so ist die Temperaturdifferenz gegen die Kellerluft bei beiden gleich, nur die Oberfläche des Eisblocks ist bei ersterem etwas grösser. Wenn die Kältemaschine abgestellt wird, so thauen in beiden Fällen die Röhren ab, was unter Umständen recht unangenehm sein kann. Man reinigt deshalb die Röhren mittels Kratzern von dem Eise, hängt auch wohl Sammelrinnen unter die Rohrsysteme, um das Schmelzwasser abzuführen, das man durch Abstellen des Rohrsystems erhält.

Die schon mehrfach erwähnte De la Vergne-Refrigerating-Machine-Company in New-York wendet seit Jahren die Ammoniakverdampfungsrohren in den Kellern zur Raumkühlung an und giebt an, dass sie niemals irgend eine Undichtigkeit an den Röhren gehabt hätte. Der Arbeitsdruck in denselben sei ja bei Ammoniak nur 1 bis höchstens 2 Atmosphären, während die Röhren auf 20 Atmosphären geprüft werden. Die Röhren sind überlappt geschweisst, durch Einschraubverbindungen zusammengefügt und nur in grösseren Abtheilungen mit Flanschen versehen. Die Gesellschaft hat constatirt, dass der Beharrungszustand eintritt bei etwa 15 Zoll engl. (38 cm) Durchmesser, so dass sich um die

Röhren ein Eisblock von diesem Durchmesser bildet. Um nun einerseits den Eisblöcken mehr Anhalt zu geben, damit sie nicht abfallen, und andererseits die Kälte von den Ammoniakröhren doch an die Kellerluft direkt zu übertragen, werden Scheiben in geringen Entfernungen von einander aufgesteckt, wie aus nebenstehenden Abbildungen (Figuren 333 und 334) und Fig. 332 ersichtlich. Bei einem Vergleich der Oberfläche solcher Eisblöcke mit der Summe derjenigen, welche sich in Deutschland um die hier gebräuchlichen Salzlöhren zu bilden pflegen, den der Verfasser angestellt hat, hat sich dasselbe Maass ergeben, d. h. man ist in Amerika ungefähr auf dasselbe Erfahrungsmaass für gleichen Kellerinhalt gekommen, wie bei uns. Die Maschinen dieser Gesellschaft sind so exakt gearbeitet und die einzelnen Theile derselben so vorzüglich durchkonstruirt, dass sich daraus die eminenten Erfolge in Amerika aus denselben Gründen erklären, wie die gleich grossartigen Erfolge der von der Maschinenfabrik Augsburg gebauten Linde'schen Maschinen bei uns. Man giebt an, mittels der Ammoniakröhren in amerikanischen Schlachthäusern die Räume auf -3° bis -4° C. abzukühlen und zu erhalten, was allerdings mit unseren Salzlöhren schwer erreicht werden kann.



Fig. 333.

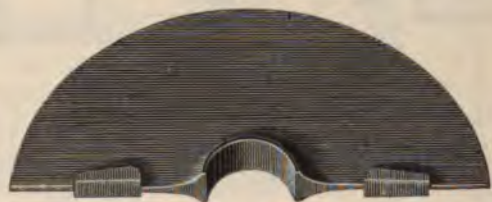


Fig. 334.

12. Kühlanlage der Barmbecker Brauerei-Aktien-Gesellschaft in Hamburg.

Um am Schlusse dieser Abtheilung zur Darstellung zu bringen, wie sich die Einrichtung in den Kellern einer Brauerei arrangirt, bilden wir die von dem Verfasser in der obigen Brauerei durchgeführte Anlage ab. Fig. 335 zeigt einen Längsschnitt, Fig. 336 den Grundriss der unteren Lagerkelleretage, Fig. 337 den Grundriss der oberen Gärkelleretage.

Die Zeichnungen zeigen die Lage und Beschaffenheit der Kühlröhren, durch welche die in der Maschine abgekühlte kalte Salzlösung fließt. Letztere wird in diesem Falle auch benutzt, um das für Abkühlung der Würze im Bierkühlapparat und den Gährbottichen nöthige kalte Süßwasser auf die niedrige Temperatur zu bringen. Mit Hülfe der Rotationspumpe *B* wird das gekühlte Salzwasser durch die Schlangentröhren der Kellerabtheilungen und des Süßwasserkühlers gedrückt, welches dann zurückfließt in den Verdampfer *e* zu erneuter Abkühlung. Die Röhren hängen zu Systemen vereinigt an den höchsten Stellen der Kellerabtheilungen. Die Anzahl derselben richtet sich nach den Verhältnissen, der Grösse der Keller, sowie dem Umstande, ob mehr oder weniger äussere Erwärmung stattfindet, ob die Keller gegen die Sonne exponirte Lage haben, ob sie feucht sind, sowie ferner nach der Beschaffenheit der



Fig. 335.

Mauern, ob sie luftdurchlässig sind und dergl. mehr. Die hier abgebildete Anlage zeigt oberirdische Keller, welche sehr starke Abkühlung beanspruchen. Oberirdische Kellereien besitzen überhaupt die für die Abkühlung ungünstige Eigenschaft bei jedem Oeffnen der Thüren warme Luft hinein zu lassen. In unterirdischen Kellereien ist der Luftwechsel in solchen Fällen bei weitem nicht so stark, weil die kalte Kellerluft an und für sich schwerer ist, als die wärmere Aussenluft und daher das Bestreben hat, unten in den Kellern zu bleiben.

Im Allgemeinen erfordern Gährkeller mehr Kälte als Lagerkeller, wegen des in denselben nothwendigen Luftwechsels zur Ableitung der Kohlensäure und der stärkeren Wärmeentwicklung während der Gährung.

Die Abkühlung der Würze geschieht auch hier mit Hülfe von Schwimmern, durch welche man das kalte Süßwasser leitet, wie schon früher beschrieben. In den Zeichnungen ist *d* der Kondensator der Kühlmaschine, *e* der Verdampfer oder Refrigerator, *g* ein Wasserreservoir. Die mit ausgezogenen Linien bezeichneten Rohrleitungen stellen die Kühlröhren

für die Luftkühlung mittels Salzwasser dar, während die gestrichelten Linien die Leitung des gekühlten Süßwassers durch die Gährbottiche und

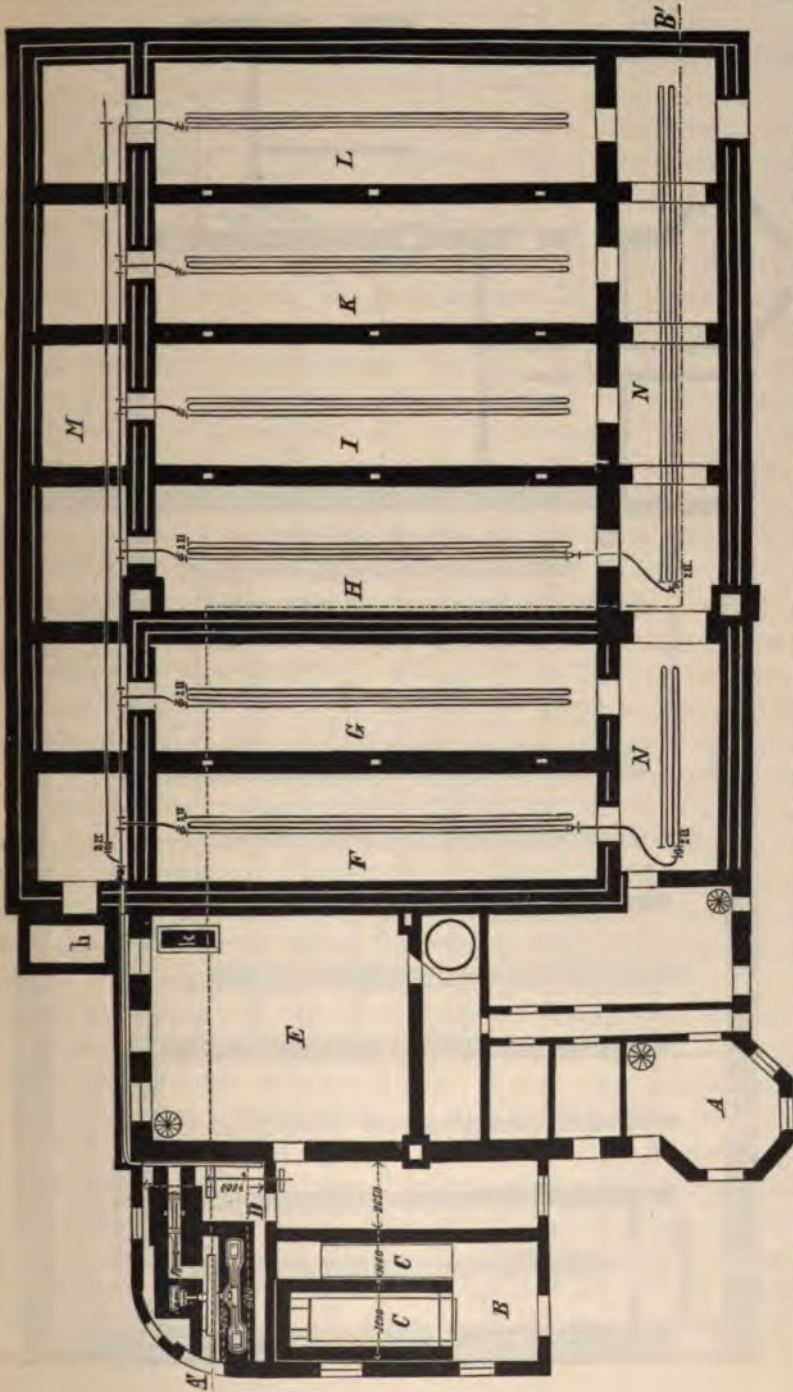
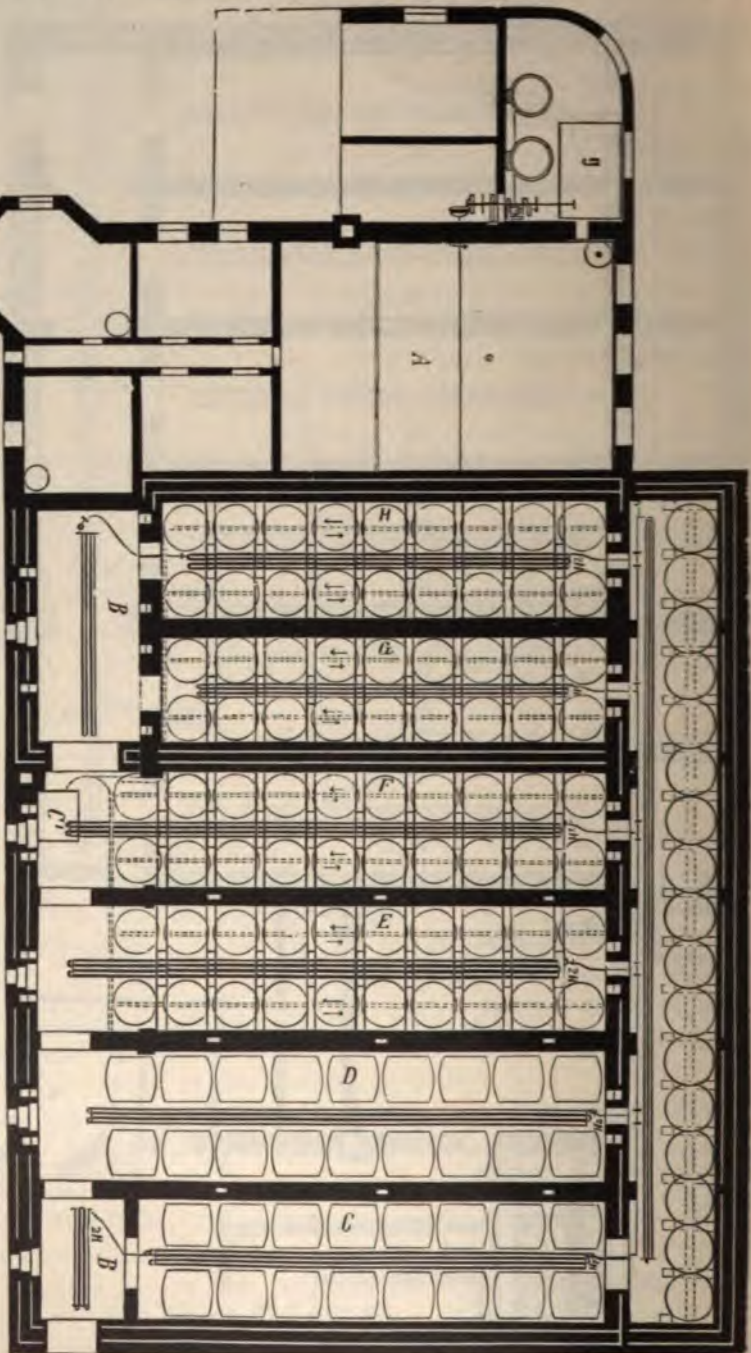


Fig. 336. *A* Comptoir, *B* Kesselhaus, *C* Dampfkessel, *D* Maschinenraum, *E* Sudhaus, *F* Lagerkeller 1, *G* Lagerkeller 2, *H* Lagerkeller 3, *J* Lagerkeller 4, *K* Lagerkeller 5, *L* Lagerkeller 6, *M* Lagerkeller 7, *N* Vorkeller.

die punktirten die Leitung durch den Bierkühler *A* bezeichnen. Das aus beiden letzteren Leitungen zurückfließende benutzte Wasser sammelt sich

Fig. 337. *A* Sudhaus. *B* Vorkeller. *C* Lagerkeller 9. *D* Lagerkeller 8. *E* Gärkeller 4. *F* Gärkeller 3. *G* Gärkeller 2. *H* Gärkeller 1.



n dem Kasten c , von wo es durch die Pumpe h in das Reservoir f zur Abkühlung des Süßwassers zurückgeführt wird.

13. Kühlanlage mittels einer mit Pictet'scher Dampfmaschine arbeitenden Kompressionsmaschine.

Wir bringen in Fig. 338 diese Maschine zur Darstellung, nachdem schon mehrfach über die darin arbeitende Pictet-Flüssigkeit gesprochen worden ist. Der Konstruktion liegt der Typus der reinen Schwefligsäuremaschine zu Grunde, wie solche auf Seite 234 u. fgde. beschrieben und in Fig. 191 abgebildet ist. Sie ist, wie diese, einfach in der Konstruktion. Der Kompressor B steht mit der Dampfmaschine A auf gemeinschaftlicher Grundplatte, und wird mittels durchgehender Kolbenstange von der Dampfmaschine betrieben. Die abgebildete Maschine ist eine Nr. V, die Dampfmaschine von 25 Pferdekraften ist mit Ventilsteuerung und selbstthätiger Expansionseinstellung versehen, und mit Kondensation. Der Kompressor ist doppelwirkend, wie bei den übrigen Kompressionsmaschinen, aber insofern von ihnen verschieden, als hier auf jedem Deckel des Cylinders zwei Saugventile s und zwei Druckventile d angebracht sind. Von den Saugventilen, die untereinander durch ein Rohr verbunden sind, führt das Rohr r_1 nach dem Verdampfer C , und zwar ist dasselbe durch die Ventile V_1 und V_3 abzuschliessen und der Uebertritt der Dämpfe zu reguliren. In gleicher Weise sind die Druckventile durch das Rohr r_2 mit dem Kondensator D verbunden und durch die Ventile V_2 und V_5 abzusperren und zu reguliren. Der Kompressor ist doppelwandig und wird mittels durch den Mantel fließenden Wassers ebenso gekühlt, wie dies bei den Schwefligsäuremaschinen beschrieben wurde; die Kolbenstange ist zu gleichem Zwecke durchbohrt. Der Zweck der Kühlung ist, wie bei den alten Pictet-Maschinen, Verflüssigung eines geringen Theiles der schwefligen Säure im Kompressor, um Kolben und Kolbenstange zu schmieren. Das für diesen Zweck erforderliche Kühlwasser wird durch die Röhren und Gummischläuche g_1 und g_2 zu- und abgeführt.

Der Kondensator D besteht aus einem eisernen Kasten, der aber im Gegensatz zu den Linde-Maschinen eckig und gradlinig ist und parallel nebeneinander liegende Schlangen enthält, welche oben und unten durch ein gemeinschaftliches Sammelrohr h_5 und h_6 verbunden sind. Durch das bereits erwähnte Rohr r_2 führt man nun die im Kompressor komprimirten Dämpfe der Pictet-Flüssigkeit in das Sammelrohr h_5 , von welchem aus sie sich in den parallelen Schlangen vertheilen und in Folge der äusseren Kühlung durch Kühlwasser zu Flüssigkeit verdichtet in dem unteren horizontalen Rohr h_6 sammeln. Von hier aus tritt die Flüssigkeit in das vertikale Rohr h_7 , das wie ein Windkessel konstruirt ist und eigentlich als Sammler für die Pictet-Flüssigkeit dient. Durch das bis fast

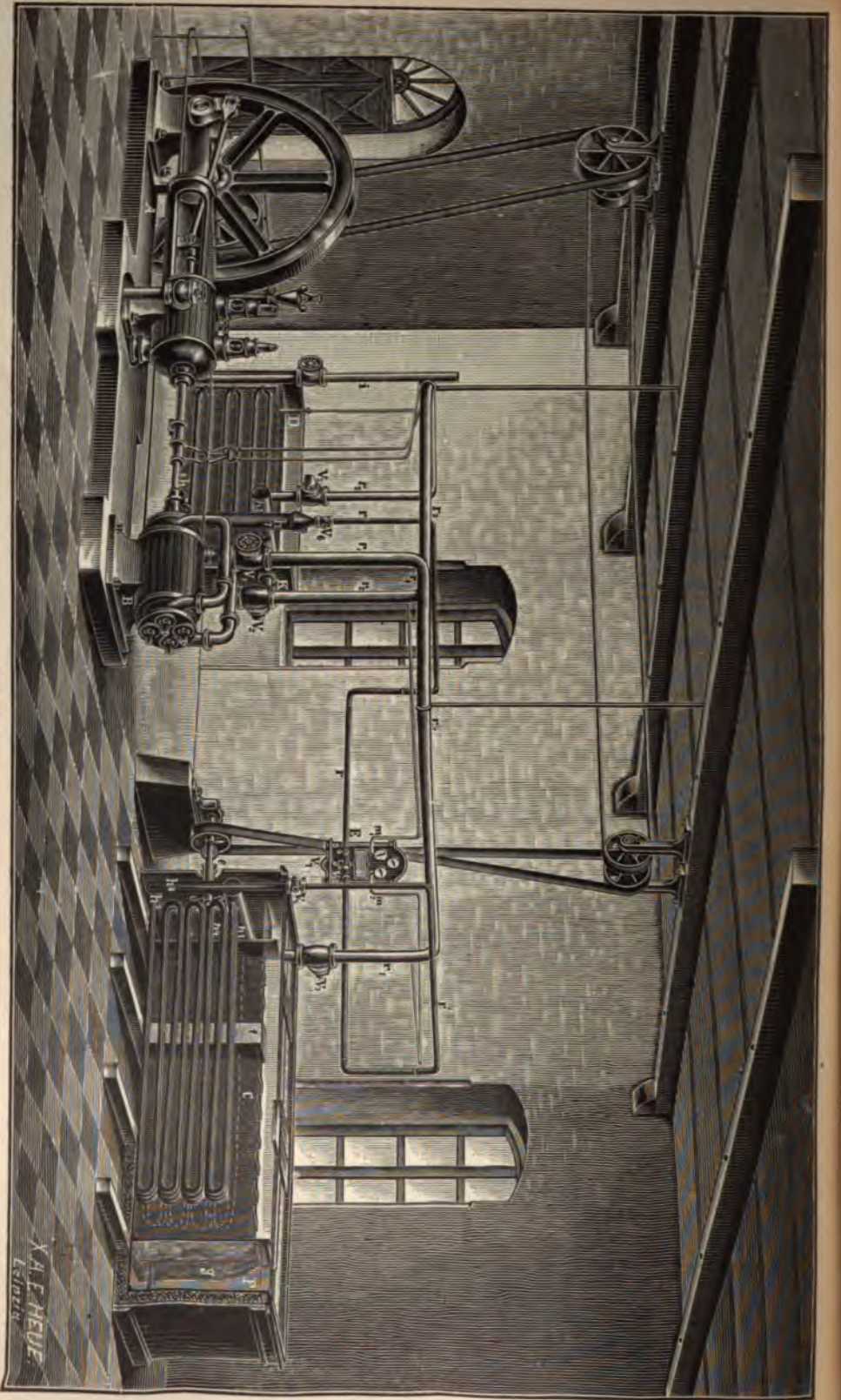


Fig. 338.

X. F. HEUE
Estip.

auf den Boden reichende enge Rohr r führt man nun die Flüssigkeit in den Verdampfer C hinüber, und zwar das Ventil V_8 am sogenannten mit R bezeichneten Regulator zur Regulirung der abzuführenden Mengen. An dieser Stelle sind auch die Ventile und Hähne angebracht, mittels welcher die Pictet-Flüssigkeit bei der Füllung der Maschine in dieselbe eingeführt wird.

Auch die Manometer m_1 und m_2 sind an dieser Stelle angebracht, die durch enge Röhren mit dem Kondensator und Verdampfer verbunden sind und den Druck in denselben anzeigen.

Um die einzelnen Apparate absperren zu können, sind überall Abschlussähne und Ventile vorhanden.

Der Verdampfer C ist ganz ähnlich konstruirt wie der Kondensator. In liegen in demselben parallel nebeneinander eine Anzahl Rohrschlangen, welche oben und unten durch die horizontalen Röhren h_1 und h_2 verbunden sind. In das untere horizontale Rohr wird durch das Verbindungsrohr r , welches vom Regulator kommt, die Flüssigkeit eingeführt, die in den Schlangentröhen verdampft und durch das Rohr r_1 in Form von Dampf von dem Kompressor wieder angesaugt wird. Auch hier sind überall Abschlussventile vorhanden. Die Schlangen sind von Salzwasser umgeben, welches mittels einer Circulationspumpe in mehrfach beschriebener Weise durch die Kühlröhren in den Keller geleitet und zurückgeführt wird. Ein Rührwerk e hält das Salzwasser in beständiger Bewegung. Falls Eis fabricirt werden soll, so werden Eiszellen f direkt in das Salzwasser hineingehängt.

Zur Erzeugung von kaltem Süßwasser ist der Verdampfer mit einem Mantel versehen, in welchem sich das abzukühlende Wasser befindet. Uebrigens sei hier bemerkt, dass nach mehrfachen Erfahrungen des Verfassers solche Oberflächenkühlung für die Bedürfnisse einer Brauerei bei Weitem nicht auszureichen pflegt, und sie durch Kühlung mit Hilfe von Schlangentröhen, durch welche kaltes Salzwasser circulirt oder in welcher Flüssigkeit verdampft, unterstützt werden muss.

Die Pictet-Maschinen wurden in Deutschland bis vor einigen Jahren in sehr guter Ausführung von der Sächsischen Maschinenfabrik in Chemnitz gebaut und durch die Firma Rudloff Grübs & Co. in Berlin, welche die Pictet'schen Patente erworben hatte, vertrieben.

Die Maschine ist, wie die Beschreibung lehrt, ebenso einfach wie die Ammoniak-Kompressionsmaschinen und erscheint einfacher dadurch, dass die komprimirte Flüssigkeit in die Maschine eingeführt wird, während bei den meisten Ammoniakmaschinen noch Destillationsapparate angebracht sind, um das Ammoniak aus Salmiakgeist hinüber zu destilliren, und Apparate, um das Schmieröl auszuschcheiden. In welcher Weise dies geschieht, ist schon auf Seite 237 besprochen. Ob dies ein Vortheil ist,

mag dahingestellt bleiben, und ist dieser Gegenstand bei Gelegenheit der Beschreibung der De la Vergne-Ammoniakmaschine schon besprochen worden.

Die Angaben, welche über eine Anlage in der Brauerei des Herrn G. A. Burghalter in Potsdam gemacht werden, sind folgende:

Die Brauerei hat einen Umsatz von 15000 Hektoliter Bier und besitzt eine Kältemaschine Nr. IVa, deren Leistung genau zwischen den üblichen Nummern IV und V liegt (Eiszeugung 375 kg pro Stunde). Die Betriebsdampfmaschine besitzt 25 Pferdestärken. Der Kondensator in der beschriebenen Konstruktion ist 2,8 m lang, 1,3 m breit und 1,25 m hoch, mit elf parallelen Rohrschlangen versehen, der Verdampfer ist 4,25 m lang, 3,25 m breit, 1,3 m hoch und in der beschriebenen Weise von einem Kühlkasten für Süßwasser umgeben. In der Salzlösung des Verdampfers hängen 50 Eiszellen zur gleichzeitigen Erzeugung von 750 kg Eis. Es werden in der Brauerei fünf oberirdische Lagerkeller von zusammen 600 qm Grundfläche und 4000 Hektoliter Lagerraum auf die übliche Lagerkellertemperatur gekühlt mittels der bekannten Rohrsysteme; ferner ein Gärkeller von 144 qm Grundfläche mit 28 Gärbottichen auf 4° R. in derselben Weise. Das gekühlte Süßwasser dient zur Abkühlung des Bieres in den Gärbottichen mittels Taschenschwimmern und der Würze von täglich 40 und eventuell 80 Hektolitern im Bierkühlapparat.

Die Anlage bei Gebr. Dittmann in Langenberg besteht aus einer Maschine Nr. V für eine Bierproduktion von jährlich 30000 Hektoliter Bier. Der Kondensator enthält bei dieser Nummer fünfzehn parallele Rohrschlangen und ist 4,4 m lang, 3,75 m breit und 1,25 m hoch. Der Verdampfer ist 4,8 m lang, 2,5 m breit und 1,3 m hoch, enthält sechs parallele Verdampferschlangen und 70 Eiszellen von 1050 kg Inhalt. Auch sind hier die Keller oberirdisch, von 1345 qm Grundfläche, und zwar Lagerkeller von 12000 Hektoliter Lagerraum und Gärkeller mit 60 Gärbottichen. Letztere werden durch Taschenkühler mit Hilfe des gekühlten Süßwassers ebenso wie die Würze im Bierkühler, 100 bis 150 Hektoliter pro Tag, gekühlt.

Herr Prof. Alois Schwarz, der über diese Anlage berichtet, giebt an, dass an Kühlwasser 9000 Liter mit 9,5° R. (11,9° C.) Eintritts- und 17 bis 18° R. (21,2 bis 22,5° C.) Austrittstemperatur gebraucht wurde, d. h. etwa 90000 W.E. im Mittel. Bei Verringerung des Kühlwassers bis 5000 Liter pro Stunde stieg die Temperatur bis 25° R. (31,25° C.), gleich etwa 96750 W.E. Die Leistung der Maschine giebt Prof. Schwarz zu 96000 W.E. pro Stunde an, was wohl kaum richtig sein dürfte. Es scheint ein Hinderniss für Erweckung des Vertrauens bei wirklich Sachverständigen für die neuen Pictet-Maschinen zu sein, dass solche unmöglichen Resultate von ungenügend Unterrichteten in die Oeffentlichkeit

gebracht werden. Es kann auch von den Dämpfen der Pictet-Flüssigkeit nicht mehr Wärme aufgenommen werden, als ihr vorher durch das Kühlwasser entzogen worden ist, und dass dieser Prozess nicht ohne Verluste abgehen kann, wie alle mechanischen Prozesse, dürfte wohl bekannt sein. Aehnlich verhält es sich auch mit der Angabe des Herrn Prof. Schwarz, dass die Maschine in 24 Stunden nur 400 kg Kohle gebraucht habe, weil bei bester Kohle und nur $1\frac{1}{2}$ kg stündlichem Kohlenverbrauch pro Stunde und Pferdekraft nur 10 indicirte Pferdekkräfte herauskommen. Maschinen Nr. V, Linde'schen Systems, gebrauchen aber in der Dampfmaschine 25 indicirte Pferdekkräfte, jedenfalls aber über 20 i. PS., und es dürfte auch selbst der Pictet-Flüssigkeit nicht gelingen, solche Vortheile zu erreichen, wie von Prof. Schwarz angegeben.

Der Verbrauch an Pictet-Flüssigkeit, der zur Füllung der Maschine erforderlich ist, soll bei Nr. V 500 kg sein. Binnen vier Monaten wurden 80 kg nachgefüllt, was sehr erheblich ist, wenn nicht durch irgend eine Unregelmässigkeit bei Beginn des Betriebes die bedeutende Nachfüllung erklärt wird.

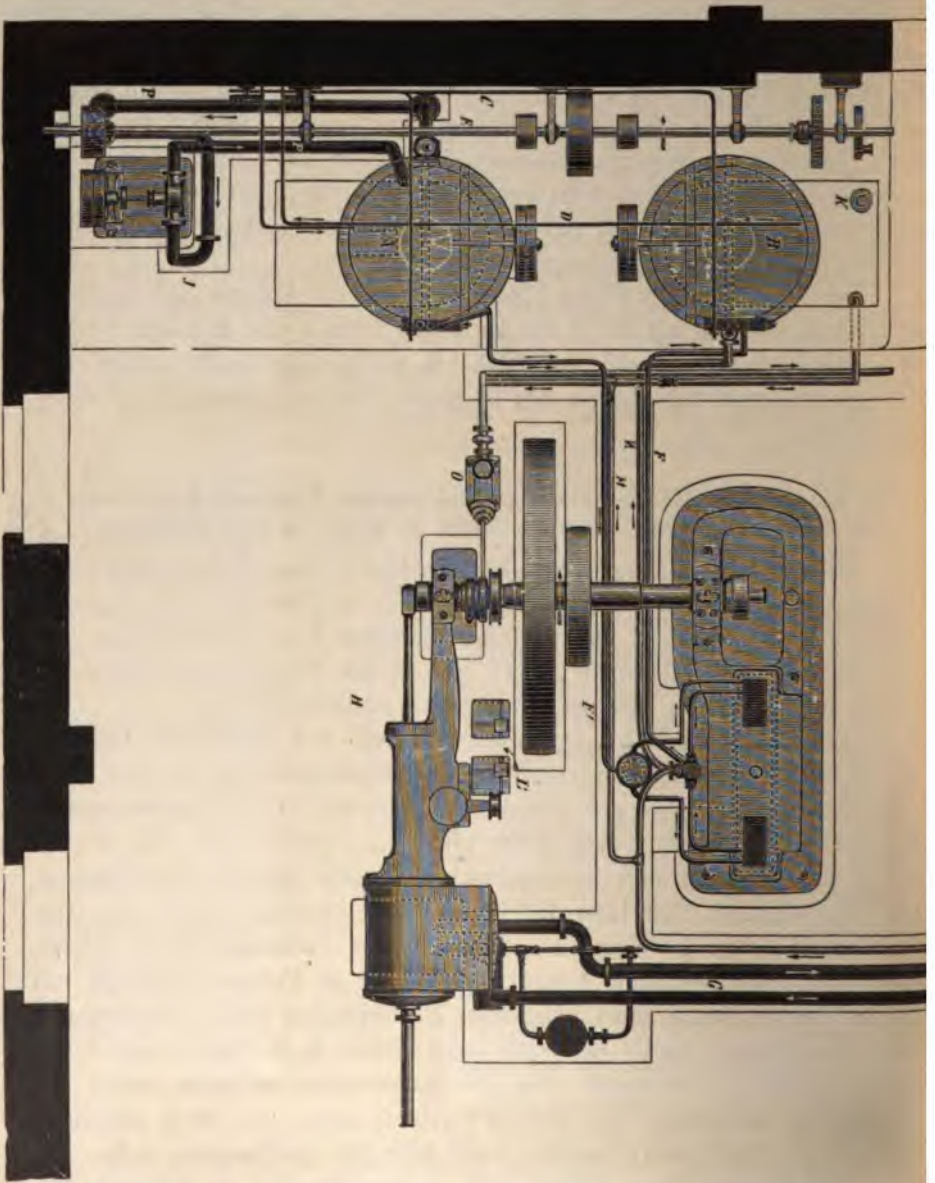
14. Anlage einer Windhausen'schen Kohlensäure-Kompressionsmaschine in der Brauerei Gambrinus des Herrn A. Mielke in Charlottenburg.

Vor mehreren Jahren finden sich Versuche an dieser Windhausen'schen Kohlensäure-Kompressionsmaschine, die bei L. A. Riedinger in Augsburg gebaut ist, veröffentlicht und will ich dieselben hier noch einfügen. Es circulirten in einer Maschine Nr. IV pro Stunde 16789 Liter Salzwasser, welche mit $-5,21^{\circ}\text{C.}$ aus dem Verdampfer austraten und mit $-3,17^{\circ}\text{C.}$ zurückkehrten, so dass bei specifischer Wärme von 0,956 eine Leistung von 32743 Wärmeeinheiten resultirt. Der Kraftverbrauch war 15,5 indicirte Pferdekkräfte, also pro indicirte Pferdekraft 2112 Wärmeeinheiten. Der Kühlwassergebrauch von 7500 Liter pro Stunde oder, um es auf unsere Seite 347 bis 355 durchgeführten Vergleichszahlen zu reduciren, pro 1000 Calorien 229 Liter Kühlwasser ist allerdings sehr hoch. Das Resultat ist daher im Vergleich zu den guten Ammoniak-Kompressionsmaschinen nicht besonders günstig und dürfte in Uebereinstimmung mit den in diesem Buche sonst gemachten Bemerkungen und Beobachtungen sein. Die Ursache dieses Resultates liegt sicherlich in der Unmöglichkeit, gegen so hohe Spannungen, wie bei Kohlensäuremaschinen nöthig ist, Verluste zu vermeiden, und auch theoretisch kann, wie schon mehrfach erwähnt, die Kohlensäuremaschine nicht sehr günstige Resultate aufweisen.

Wir bringen diese Anlage hier in den Fig. 339 bis 342 zur Abbildung. Es fällt auf den ersten Blick die Aehnlichkeit mit den Ammoniak-Kompressionsmaschinen auf. Die flüssige Kohlensäure wird in Ballons angeliefert und in die Maschine durch Anschluss des Ausströmungshahnes

an die Einfüllhähne der Kältemaschine eingeführt. Die Kompressionspumpe ist vertikal konstruiert und wird durch einen Balancier angetrieben. Sie besteht aus zwei vertikalen Cylindern, welche zusammen eine U-förmige

Fig. 339. *A* Refrigerator. *B* Condensator. *C* Manometerleitung. *D* Kohlenstrome-Flüssigkeitleitung. *E* Transmissionswelle. *F* Kohlenstrome-Druckleitung. *F'* Kohlenstrome-Saugleitung. *G* Dampfleitung. *H* Dampfmaschine. *J* Circulationspumpe. *K* Ab- und Ueberlauf. *L* Schaltwerk. *M* Süßwasser-Speiseleitung. *N* Kühlwasserleitung. *O* Speisepumpe. *P* Salzwasserleitung.



Gestalt bilden. In dem einen Cylinderschenkel bewegt sich ein eigentümlich konstruierter Manschettenkolben, während in dem oberen Deckel des anderen Schenkels ein Saug- und Druckventil angebracht ist. Der

Zwischenraum zwischen Kolben und Ventilen ist mit Glycerin als Sperrflüssigkeit angefüllt. Die Maschine gewinnt hierdurch Aehnlichkeit mit dem De la Vergne-Ammoniakmaschinen und ist wie diese einfachwirkend.

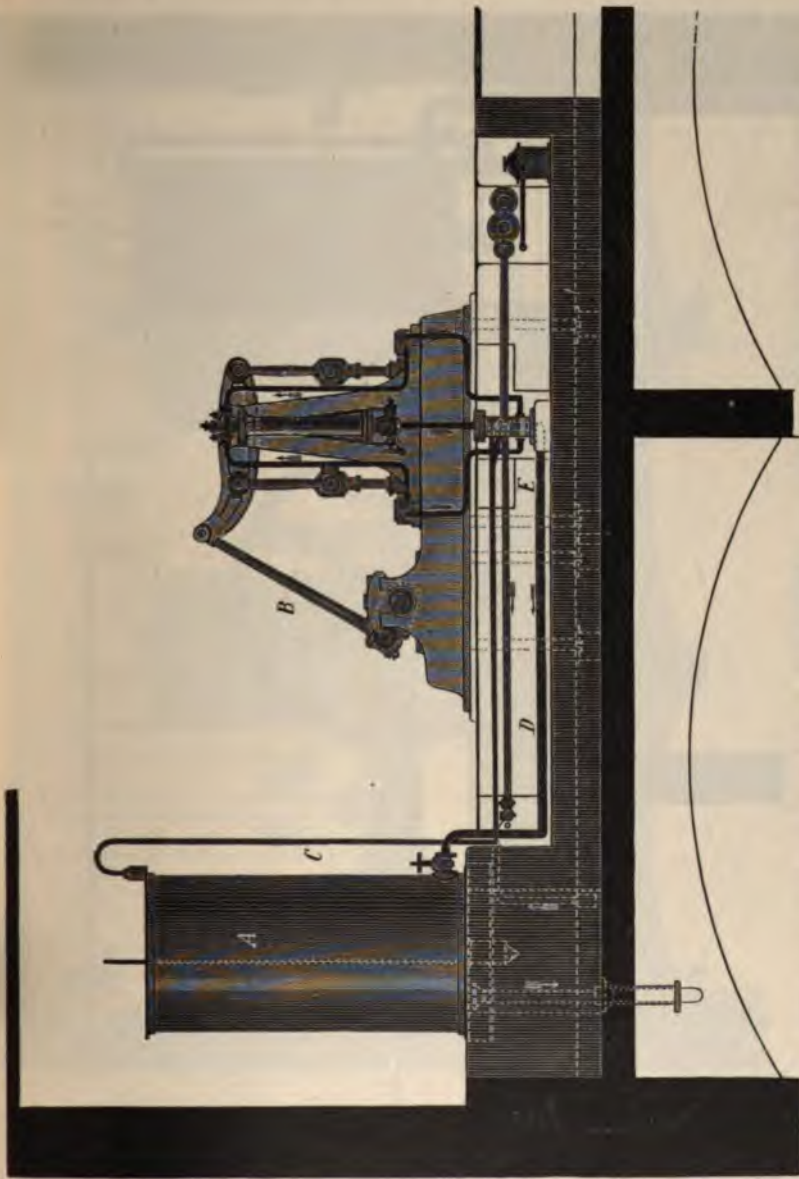
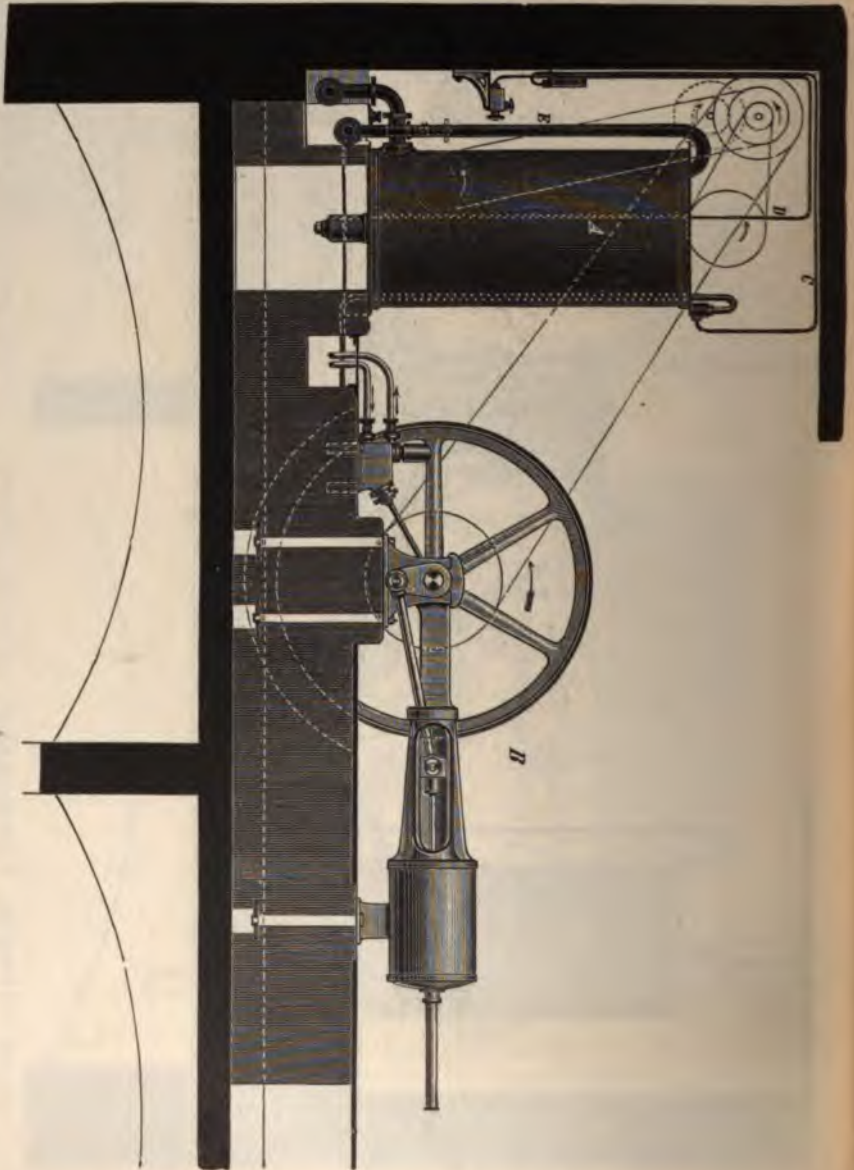


Fig. 340. A Kondensator. B Kompressor Nr. IV. C Kohlensäure-Druckleitung. D Kühlwasserleitung. E Glycerinabscheider.

Beim Spiel des Kolbens wird die Flüssigkeit angesaugt und abgedrückt, und sie dient als Zwischenglied (Sperrflüssigkeit) zwischen der Kohlensäure und dem Kolben. Letztere wird abwechselnd angesaugt und kom-

primirt, und da auch die Sperrflüssigkeit abwechselnd dem Saug- und Kompressionsdruck unterworfen werden und gleichzeitig bei jedem Kolbenwechsel mit hin- und hergeschoben werden muss, endlich auch wohl

Fig. 311. *A* Refrigerator. *B* Dampfmaschine, *C* Manometerleitung, *D* Kohlensäure-Flüssigkeitleitung, *E* Salzwasserleitung.



Absorption eines kleinen Theils der Kohlensäure in Folge der stark differirenden Pressionen bei jedem Kolbenwechsel stattfinden mag, so muss auch in solchen Verlusten die oben erwähnte etwas geringere

Leistung ihre Ursache haben, wenn man noch erwägt, dass nach allen in diesem Buche geschehenen Auseinandersetzungen Kohlensäure auch theoretisch nicht den günstigsten Effekt haben kann. Der Erbauer der Maschine, L. A. Riedinger in Augsburg, sagt übrigens, dass die Sperr-

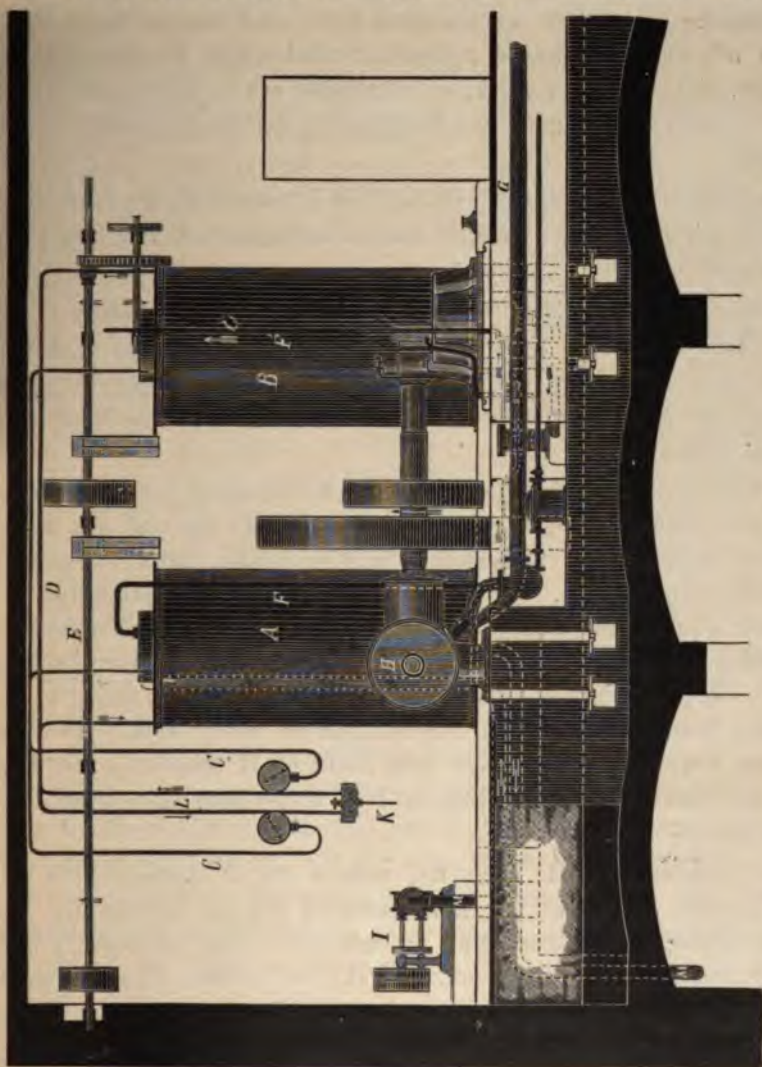


Fig. 342. A Refrigerator, B Kondensator, C Manometerleitung, D Kohlensäure-Flüssigkeitsleitung, E Transmissionswelle, F Kohlensäure-Saugleitung, F^o Kohlensäure-Druckleitung, G Dampfleitung, H Dampfmaschine, I Circulationspumpe, K Regulierung, L Kohlensäure-Flüssigkeitsleistung, M Salzwasser-Zu- und Rückleitung.

flüssigkeit verhindert, dass jemals Kohlensäure an den Kolben oder die Stopfbüchse gelangen könnte, und dass dadurch vollkommene Abdichtung des Kolbens und der Stopfbüchse gelinge, und dass auch die schädlichen Räume dadurch ausgefüllt würden, so dass vorzügliche Diagramme resultiren. Diese Vortheile wurden allerdings durch die Absorptionsfähigkeit des Glycerins gegen Kohlensäure theilweise wieder aufgehoben.

Im Uebrigen ist die Konstruktion der Maschine aus den Abbildungen zu erkennen, in welchen die, verschiedenen Zwecken dienenden, Rohrverbindungen verschiedenartig markirt sind. Auch Apparate zum Abfangen des mit der Kohlensäure durch die Maschine gegangenen Glycerins sind in der Maschine vorhanden. Je nachdem mehr oder weniger dieser Sperrflüssigkeit mit der Kohlensäure mitgeführt wird durch Kondensator und Verdampfer, sinkt auch der Effekt der Maschine etwas, so dass auch darin die oben erwähnte etwas geringere Nutzleistung der Maschine ihre Ursache haben mag.

Kondensator und Verdampfer sind ähnlich konstruirt wie die Linde'schen und werden die Röhren des ersteren einem Prüfungsdruck von 200 Atmosphären unterworfen.

Kohlensäure greift Metalle nicht an und wirkt bei geringer Ausströmung nicht erstickend. Undichtigkeiten sollen sich durch ein so ausserordentlich starkes Geräusch ankündigen, dass der Vortheil von Ammoniak und schwefliger Säure, durch den Geruch Undichtigkeiten anzuzeigen, dadurch aufgewogen wird.

Es lässt sich nicht leugnen, dass die Kohlensäure ein vorzügliches Medium zur Kälteerzeugung ist und dass, sobald die aus den hohen Spannungen entstehenden technischen Schwierigkeiten ganz vollkommen überwunden sein werden, die Kohlensäure-Kompressionsmaschinen den übrigen nur ökonomisch nachstehen werden. Ein besonderer Vortheil bei Raumkühlung wird sich noch dadurch herausstellen, dass das amerikanische Verfahren, die Verdampfungsröhren direkt in die Keller zu verlegen, bei Kohlensäure keine übermässigen Schwierigkeiten haben kann. Etwaiges Ausströmen von Kohlensäure wäre dem Biere nicht schädlich, allerdings müssten die Röhren und Dichtungen mit Sicherheit dem Druck von 40 Atmosphären widerstehen.

Sehr interessant sind Versuche, welche am 4. Januar 1888 von F. Windhausen an dieser Maschine gemacht wurden betreffs des Einflusses des kritischen Punktes. Man versteht unter dem kritischen Punkte denjenigen Temperatur- und Spannungspunkt, bei dessen Unterschreitung die Verflüssigung vor sich geht, ohne dass der Uebergang durch äusserliche Wirkung wahrgenommen werden könnte. Wird die Flüssigkeit unter diesem Drucke erwärmt, so vergast die Flüssigkeit wieder ohne äusserliche Wirkung. Für Kohlensäure liegt die kritische Temperatur bei $+31^{\circ}\text{C}$. und der kritische Druck bei 73 Atmosphären. Kohlensäure von 31° Temperatur wird bei 73 Atmosphären flüssig. Bei Steigerung der Temperatur wird sie überhaupt nicht mehr flüssig, bleibt vielmehr ein Gas; bei Steigerung der Spannung tritt dagegen der eben beschriebene Zustand etwas früher ein.

Uhr	Temperatur im		Lufttemperatur ° C.	Druck im		Dampfdruck Atm.	Expansionsgrad	Touren pro Minute	Temperatur des zur Kellerkühlung			
	Refrigerator ° C.	Kondensator ° C.		Refrigerator Atm.	Kondensator Atm.				einfließen- den Salzwassers ° C.	ausfließen- den ° C.	Differenz ° C.	
												Minuten
12	5	-2	+18,25	+9—10°	26	68	5,6	15 %	68	-3	-1,25	1,75
"	10	"	+18,3	—	25,5	"	—	—	"	-3	-1,25	1,75
"	15	-2	—	—	25,5	"	—	—	"	-3,2	-1,4	1,8
"	20	"	+18,5	—	27,5	"	—	—	"	-3,25	-1,5	1,75
"	25	"	+18,7	—	28	68,5	—	—	"	-3	-1,5	1,5
"	35	"	+19	—	26	69	—	—	"	-3,6	-2	1,6
"	50	-3	"	—	26	"	—	—	"	-4	-2	2
1	10	-3	"	—	26	"	—	—	"	-4,25	-2,5	1,75
"	25	-3,5	+19	—	27,5	69	—	—	"	-4,5	-3	1,5
"	33	"	"	—	28	"	—	—	"	-4,5	-2,75	1,75
2	—	"	+18,75	—	26	69,5	—	—	"	-4,75	-3	1,75
"	6	"	+21	—	25	"	—	—	"	-5	-3	2
"	10	"	"	—	24,5	"	—	—	"	-4,75	-3	1,75
"	15	"	+22	—	26	"	—	—	"	-4,75	-3	1,75
"	20	"	+23	—	25	74	4	25—30 %	"	-5	-3	2
"	25	-3,5	+22,7	—	25	74,5	—	—	"	-5	-3,25	1,75
"	30	"	+24,5	—	27	75,75	—	—	"	-5	-3,25	1,75
"	35	"	+25	—	27	76,75	—	—	"	-4,75	-3,25	1,5
"	40	"	+26,5	—	26,5	76,5	5,5	20 %	"	-4,8	-3,25	1,55
"	50	"	+27	—	26,5	79,5	"	22 %	"	-4,8	-3,2	1,6
"	55	"	+27,25	—	26,5	79,5	5	20 %	"	-4,8	-3,2	1,6
3	—	—	+28	—	25	81	5	20 %	"	-4,7	-3,2	1,5

Ueber die Verhältnisse, welche durch Steigerung bis an die kritische Temperatur entstehen, geben die Versuche keine Auskunft.

„In der vorstehenden Tabelle beginne ich mit der Temperatur +18° C. und 68 Atmosphären Spannung im Kondensator und zeigt sich dann bei Steigerung des Druckes bis 81 Atmosphären in demselben und während Erhaltung gleicher Spannung im Refrigerator, dass die Leistung der Maschine sich nicht änderte und dass lediglich der Kraftaufwand entsprechend der höheren Spannung zunahm. Man sollte aus diesen Versuchen schliessen, dass es mit der Ueberschreitung des kritischen Spannungspunktes bei Kohlensäure doch nicht in der Weise seine Richtigkeit haben kann, wie es bis jetzt angenommen wird.“

Bezüglich dieser Bemerkung Windhausen's siehe Seite 116 und 117, sowie Seite 363 bis 365.

15. Krystalleis-Maschinenanlage der Fabrique de Glace hygiénique in Montreux von Escher, Wyss & Co. in Zürich.

Fig. 343 bis 346 zeigen eine Anlage für Krystalleisfabrikation unter Verwendung von Kohlensäure, wie wir dieselbe für obige Firma zur Aus-

führung brachten und die der besonderen, dabei zu berücksichtigenden Verhältnisse wegen wohl werth ist, einer kleinen Extrabetrachtung unterzogen zu werden.

Diese Kohlen-säure-Eismaschine dient zur Herstellung von ca. 500 kg Krystalleis pro Stunde in Blöcken von 25 kg, ferner zur Abkühlung einiger Keller-räumlichkeiten für diverse Konsum-artikel und endlich zur Herstellung von ca. 500 caraffes frappées für den Hôtelbetrieb. Der Betrieb erfolgt durch eine Turbine A.

Das Tauchkonden-sator - Schlangen-system B ist direkt in die Zuflussleitung derselben eingebaut. In Folge der bedeutenden zur Verfügung stehenden Wassermenge

konnten natürlich die Dimensionen der Kondensator-schlange verhältnissmässig klein gehalten werden, ohne den Kälte-effekt der Maschine

irgendwie zu gefährden. Auf diesen in geeigneten Fällen besonders wichtigen Umstand sei hier besonders aufmerksam gemacht. In obigem

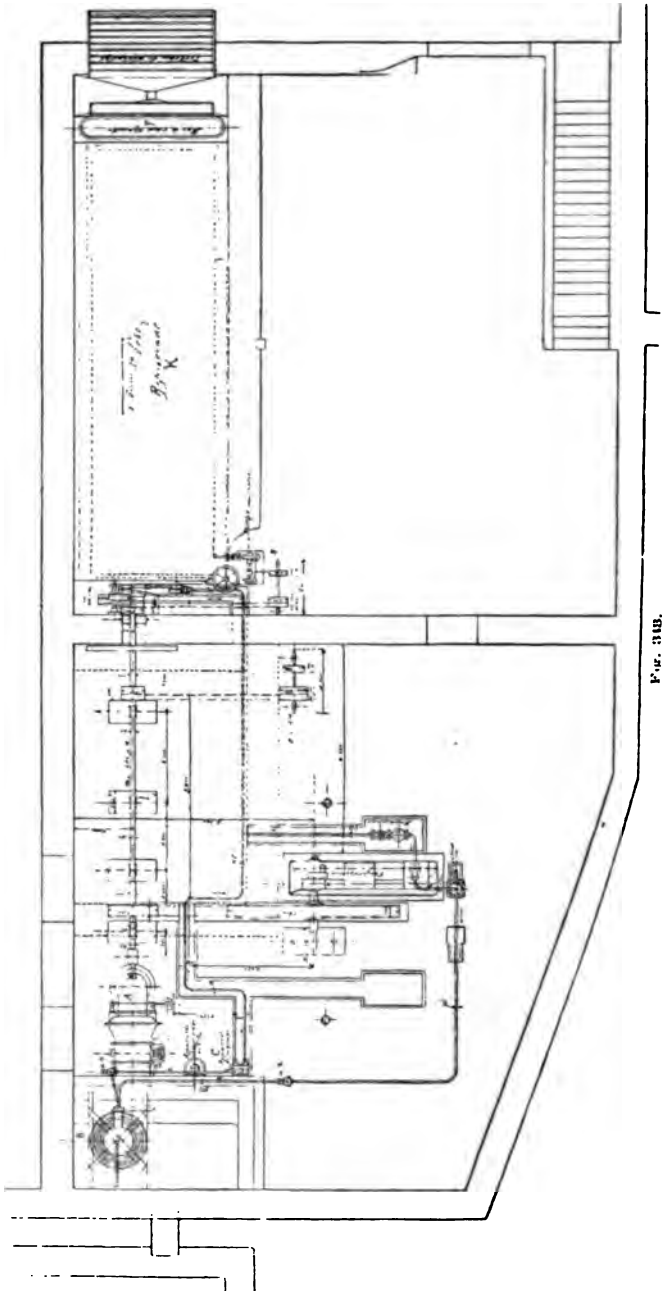


Fig. 318.

Falle konnte man deshalb übrigens auch von der Anordnung eines sonst üblichen Kohlensäure-Flüssigkeitskühlers Abstand nehmen. Die Transmissionswelle ist mit der Turbinenwelle direkt verbunden. Von der Transmission aus wird dann der Kompressor Nr. V mittels Riemen betrieben. Der Kompressor ist so eingerichtet, dass er bei späterer Betriebserweiterung ohne Weiteres direkt mit einem zweiten, parallel dazu angeordneten vereinigt werden kann. Die Zeichnung zeigt auch in übersichtlicher Weise die Disposition der Kohlensäure-Verbindungsleitungen vom Kompressor zum Kondensator und von da zurück in den Refrigerator und Kompressor. *C* bezeichnet den Regulierungsapparat, welcher mittels entsprechend angeordneter Abschliessungen eine wechselweise Verbindung mit Kompressor und Kondensator ermöglicht. Durch die Manometer wird der jeweilig in den Röhrenapparaten herrschende Druck in zuverlässiger und übersichtlicher Weise angezeigt. *D* ist der Kohlensäure-Füllapparat. Derselbe ist mit einer Auffangschale und einer Mischvorrichtung für Wasser und Dampf versehen, um warmes Wasser über die Kohlensäureflasche zu deren schnellerer Entleerung rieseln lassen zu können. Zur Aufnahme der Eiszellen sind im Refrigeratorkasten die nöthige Anzahl schmiedeeiserner Rahmen vor-

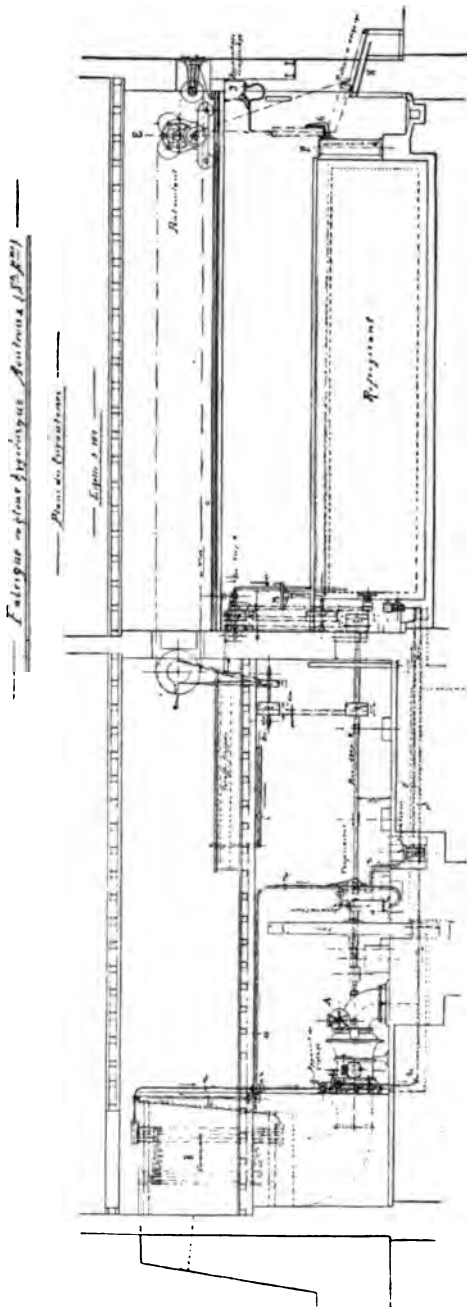


Fig. 344.

handen, die auf Schienen verschoben werden können. Diese Laufschienen sind an der innern Seite der Refrigerator-Längswände angenietet. Die Rahmen besitzen an ihren Enden Haken, an denen sie durch einen Transmissionslaufkrahne *E* ausgehoben, in der Längsrichtung des Kastens bewegt, sowie auf- und niedergelassen werden können. Sobald eine Zellenreihe

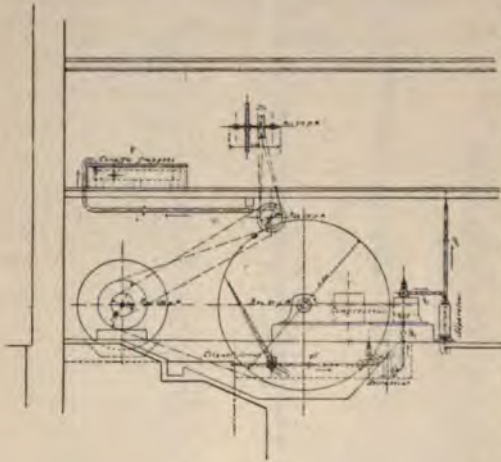


Fig. 345.

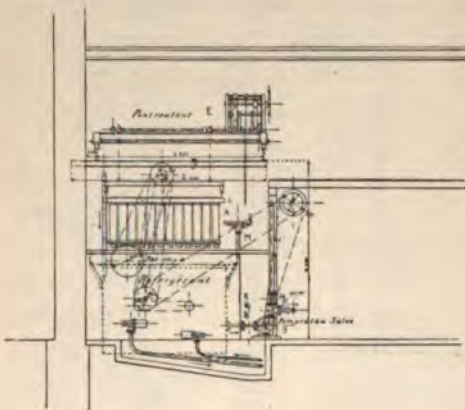


Fig. 346.

ausgefroren ist, wird sie nach Lüftung des darüber befindlichen Bohlenbelages ausgehoben, sodann über das am Stirnende des Refrigeratorkastens angeordnete Aufthaugefäss *F* gebracht und einige Minuten in das darin befindliche lauwarme Wasser eingetaucht. Hierbei lösen sich die Blöcke von den Zellenwänden ab. Wenn dann die Zellen mittels der Kippvorrichtung *G* nach unten geschwenkt werden, rutschen die Eisblöcke auf die schiefe Ebene *H* heraus. Von hier aus können sie dann verladen werden. Die entleerte Zellenreihe wird alsdann vom Laufkrahne wieder emporgezogen, sodann aus der Füllvorrichtung *I* mit frischer Wasserfüllung versehen, um dann am andern Refrigeratorende wieder in den Kasten eingesetzt zu werden. In derselben Weise wird mit jeder Zellenreihe in bestimmten Zeiträumen verfahren. Wie aus Obigem zu ersehen, ist die ganze Manipulation eine ungemein einfache und kann selbst bei der

grössten Maschine durch einen einzigen Arbeiter mühelos bewirkt werden. Der Eisgenerator *K* ist durch eine horizontale Blechwand in zwei Theile getrennt. In dem untern, nach oben durch diesen Blechboden abgedeckten Raum befinden sich die schmiedeeisernen, in einem Stück hergestellten Verdampferschlangen. Diese sind von einer ca. 25 procentigen schwer gefrierbaren Salzlösung umgeben, die durch zwei von der Transmission betriebene Röhrewerke in permanenter Circulation erhalten wird. In den obern Theil des

Kastens sind die Rahmen *L* mit den Zellen *N* eingehängt. Dem Fortschreiten des Gefrierprozesses entsprechend werden diese allmählich durch die Vorschubvorrichtung *M* nach dem andern Ende des Refrigerators verschoben.

Das Krystalleis erzeugen wir mittels eines sehr einfachen Schüttelwerkes. Wir bedürfen dazu also keinerlei Destillirapparate u. dergl., die ganz naturgemäss einen sehr theueren Betrieb bedingen und wegen ihrer immerhin etwas komplizirten Konstruktion vielfach Anlass zu Betriebsstörungen geben. Dagegen bürgt die Einfachheit des Schüttelwerkes dafür, dass solche Unzuträglichkeiten bei unserer Maschine ausgeschlossen sind. Der Schüttelapparat ist mit Flossen von besonderer Form für die einzelnen Zellen versehen. Durch die pendelnde Bewegung dieser Flossen wird die Bildung und das Festfrieren der abgeschiedenen Luftblasen, und damit eine Trübung des Eises auf ebenso einfache wie wirksame Weise verhütet. Diese Flossen hängen ihrerseits in Traversen an einem Schüttelrahmen, welcher durch eine Kurbel getrieben permanent in horizontaler Bewegung erhalten wird. Die beiden Seitenträger dieses Rahmens drehen sich um vertikale Zapfen, die am andern Refrigeratorende angebracht sind. Natürlich ist die Schwingungsweite der Traversen mit ihren Flossen eine um so geringere, je mehr sie sich diesen Drehzapfen nähern. Wie oben erklärt, werden die Zellen nach diesem Ende des Eisgenerators verschoben. Die Schwingungsweite der Flossen nimmt also ab mit dem centralen Wasserrest in den Eiszellen. Dieser Wasserrest von ca. 10 Proc. bleibt etwas trüb, wenn man ihn schliesslich nach Herausnehmen der Flossen mit gefrieren lässt. Wenn man auf Wegfall dieses Kernes Werth legt, so wird der letzte Wasserrest kurz vor dem völligen Ausfrieren mittels einer Handpumpe abgesaugt und durch reines Brunnenwasser ersetzt. Der Schüttelapparat kann natürlich auf Wunsch ohne Weiteres ausgeschaltet werden, wenn man zeitweise nur Matteis fabriciren will.

Die Herstellung der Caraffes frappées erfolgt im Blechkasten *P*, der mit einem gitterförmigen Rost für die Aufnahme der Glasflaschen versehen ist. Die Salzsoole wird durch ein Rührwerk in konstanter Circulation erhalten. Die Caraffes frappées liefern besonders in Frankreich einen beliebten Zusatz zum Wein etc.

Die Kühlung der Keller erfolgt mittels kalter Salzsoole aus dem Refrigerator, die durch ein System gusseiserner Rippenröhren mittels einer Circulationspumpe gedrückt wird.

16. Schwefligsäure-Kältemaschinenanlage der Berliner Bockbrauerei.

Von W. Bräutigam, Ingenieur und Assistent am Maschinenlaboratorium der Techn. Hochschule zu Berlin.

Veröffentlicht in der Zeitschrift für Kälteindustrie 1898, Heft VII.

Die im November des Jahres 1897 dem Betriebe übergebene neue Kälteerzeugungsanlage der Berliner Bockbrauerei ist nach dem System

Pietet gebaut und wurde von der Maschinenfabrik Schüchtermann & Kremer in Dortmund ausgeführt.

Die gesammte Anlage für eine Kälteleistung von 300 000 W.E. pro Stunde war einschliesslich der Süsswasserkühlung in vorhandenen Gebäulichkeiten unterzubringen, die ursprünglich nur zur Aufnahme einer Kältemaschine von halb so grosser Leistung gedient hatten, und die auch weder vergrössert noch umgebaut werden konnten, ohne Schwierigkeiten mit der Baupolizei hervorzurufen. Trotz der dadurch bedingten, aus Fig. 347 und 348 ersichtlichen überaus gedrängten Anordnung der ganzen Anlage ist es der ausführenden Firma doch gelungen, den Bedingungen zu

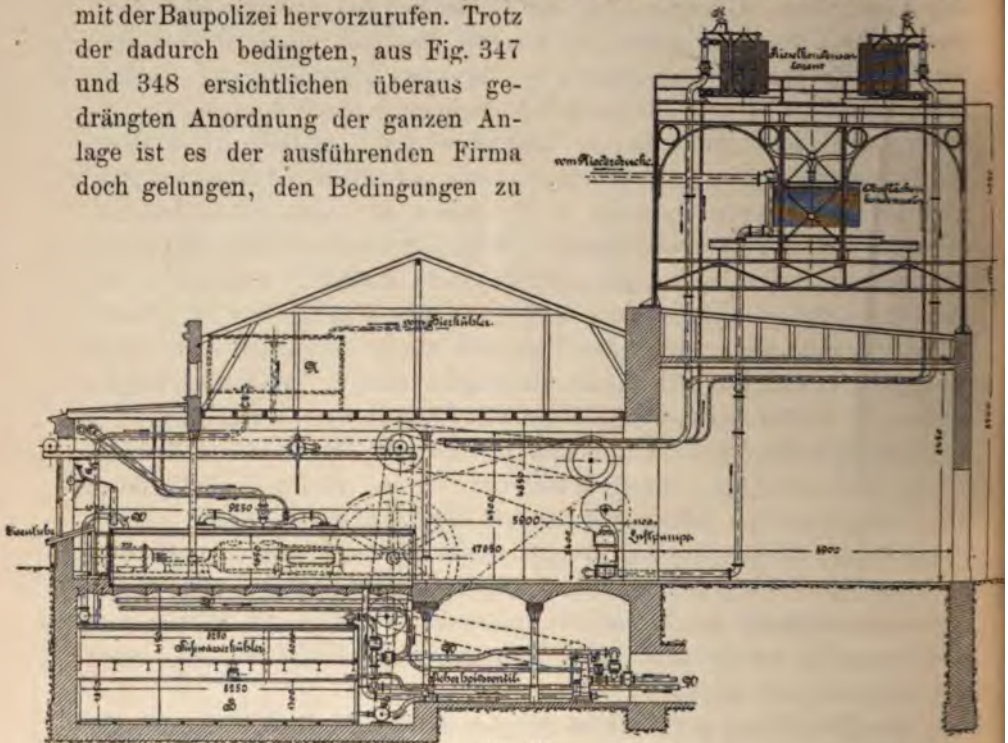


Fig. 347.

genügen, ohne die Zugänglichkeit der einzelnen Theile in Frage zu stellen.

Bei den von Professor Josse, Leiter des Maschinenlaboratoriums der Kgl. Techn. Hochschule zu Charlottenburg, unter Mitwirkung des Berichterstatters vorgenommenen Abnahmeversuchen wurden einige praktische Resultate gewonnen, die deswegen ein allgemeineres Interesse verdienen dürften, weil bis jetzt in Deutschland trotz der unverkennbaren Vorzüge der Schwefligsäuremaschinen noch verhältnissmässig recht wenige ausgeführt sind und auch fast keine Versuchsergebnisse vorliegen. Bevor ich jedoch diejenigen der oben erwähnten Anlage mittheile, sei es gestattet, die letztere im Allgemeinen kurz zu beschreiben.

Die beiden doppelwirkenden Kompressoren sind mit den verlängerten Kolbenstangen einer Verbunddampfmaschine gekuppelt und jeder derselben

ist durch besondere Rohrleitung mit je einem Kondensator und einem Verdampfer in Verbindung, so dass füglich von zwei Kältemaschinen gesprochen werden kann.

Diese Anordnung hat den grossen Vortheil, dass man bei schwächerem Kältebedarf, wie beispielsweise im Winter, mit nur einer Hälfte arbeiten kann, während die andere als Reserve zur Verfügung steht. Bei Vollbetrieb hat man insofern genügende Sicherheit, als die Verdampfer und Kondensatorsysteme beliebig auf den einen oder anderen Kompressor geschaltet werden können.

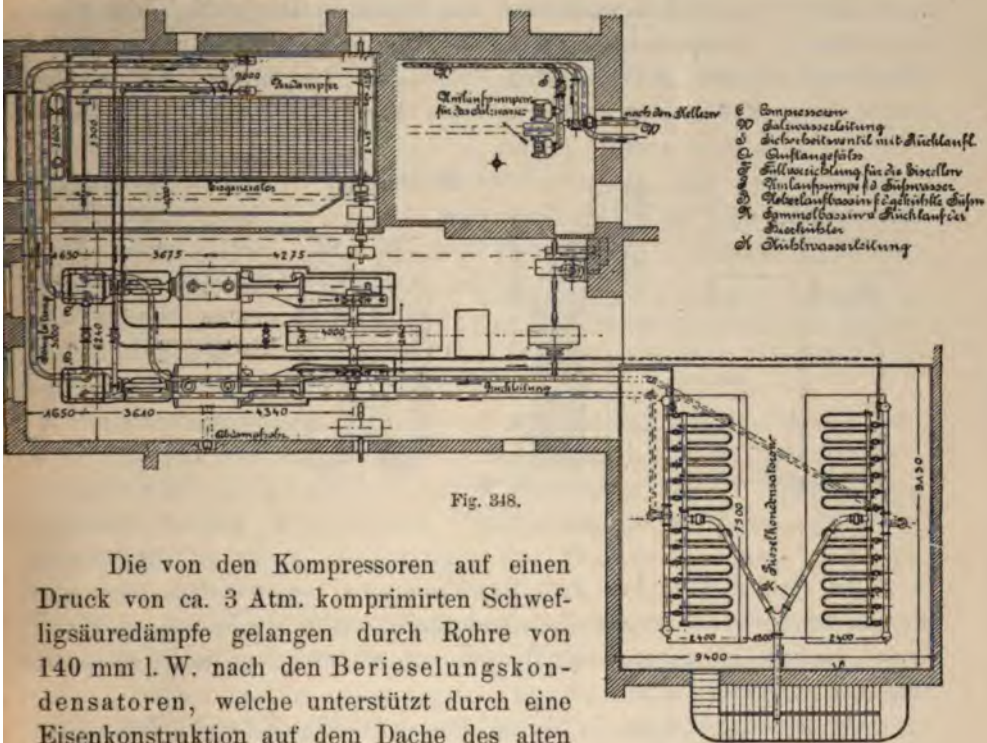


Fig. 348.

Die von den Kompressoren auf einen Druck von ca. 3 Atm. komprimierten Schwefelsäuredämpfe gelangen durch Rohre von 140 mm l. W. nach den Berieselungskondensatoren, welche unterstützt durch eine Eisenkonstruktion auf dem Dache des alten Maschinenhauses aufgestellt sind.

Jeder dieser beiden Kondensatoren wird von 12 Kupferspiralen gebildet, die aus gezogenen Rohren bestehen und auf ihre ganze, in gestrecktem Zustand etwa 80 m betragende Länge 25 Windungen besitzen. Das aus Bohrbrunnen geförderte Kühlwasser wird durch eine mit Riemen angetriebene und in einem Brunnenschachte aufgestellte Tauchkolbenpumpe hochgedrückt und fliesst mit einer mittleren Temperatur von ca. 9 bis 11° C. den Kühlsystemen zu. Das Kühlwasser erwärmt sich an den Kondensatoren der Eismaschine nur um wenige Grade, so dass es zweckmässig erschien, dasselbe noch weiter zu verwenden. Aus diesem Grunde, sowie auch der Raumerparniss halber, wurde der Oberflächenkondensator der

Dampfmaschine ebenfalls auf dem Dache und unterhalb der Schwefligsäurekondensatoren aufgestellt.

Die Kühlwassertemperaturen betragen am Beobachtungstage $9,8^{\circ}$ am Zufluss, $14,1^{\circ}$ am Ablauf des Säurekondensators und 14° resp. 28° an den entsprechenden Stellen des Dampfmaschinenkondensators. Die Temperatur der äusseren Luft betrug $+3^{\circ}$.

Das Ueberströmen der verflüssigten Säure nach dem Verdampfer wird durch Ventile regulirt, die, dem Maschinisten sehr bequem zugänglich, unmittelbar unter der Manometertafel am Schwungradgeländer angeordnet sind. Sie werden erfahrungsgemäss am besten so eingestellt, dass eben noch trockener Kompressorgang stattfindet, was einerseits durch nur schwache Eisbildung an den nicht isolirten Stellen der Saugleitung, andererseits durch starke Erwärmung der Druckrohre leicht konstatiert werden kann.

Die Leitung für die verflüssigte Säure vom Kondensator zum Verdampfer hat eine lichte Weite von 35 mm, die Saugleitung des Kompressors eine solche von 140 mm.

Verdampfer und Eisgenerator befinden sich

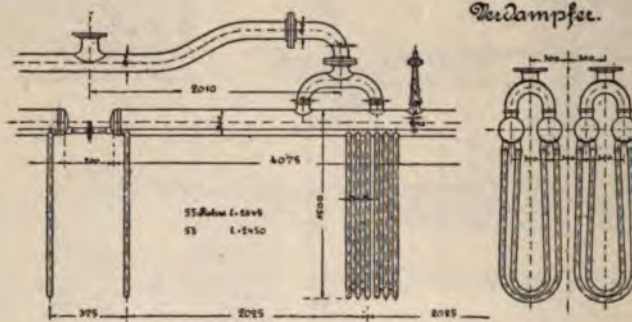


Fig. 349.

in einem zwar dicht neben dem Maschinenraum angeordneten, aber von diesem durch eine Glaswand doch vollständig getrennten Raume, wodurch der so nachtheilige gegenseitige Wärmeaustausch zwischen beiden Räumen möglichst vermieden wird.

Die Konstruktion des Verdampfers ist aus Fig. 349 ersichtlich. Vier gerade horizontale Rohre von 200 mm l. W. bewirken die Vertheilung der Säure nach den eigentlichen Verdampferöhren, die, ebenfalls aus Kupfer bestehend, eine vertikale Anordnung erhielten. Das ganze System ist in einem Bad mit Chlornatriumlösung eingebaut, das durch Rührwerke in beständiger Bewegung erhalten wird und gleichzeitig in den Kühlrohren der Gähr- und Lagerkeller circulirt. Der Umlauf in den letzteren wird durch zwei stehende, doppelwirkende Kolbenpumpen von Klein, Schanzlin & Becker bewerkstelligt, die mit Metallkolben ausgerüstet sind und vollkommen einwandfrei arbeiten. Die Tourenzahl der Pumpen beträgt ca. 60 in der Minute. Ein Sicherheitsventil mit Rücklaufleitung zur Verdampferkufe schliesst jede Gefahr zu hoher Pressung bei Unachtsamkeit aus.

Der Eisgenerator hat eine Ausdehnung von 9 m auf 3,6 m und 1,8 m Tiefe. Es können bei 27 Reihen im Ganzen 513 Zellen von je 12,5 kg Inhalt eingesetzt werden. Der zum Ausheben der Eisblöcke dienende Transmissionskrahnen kann mit Hilfe einer Spannvorrichtung des Antriebsriemens in einfachster Weise ein- und ausgerückt werden. Die Füllung geschieht für je 19 Zellen gleichzeitig.

Unter dem Generatorraume befindet sich in einer Unterkellerung der Süßwasserkühler (Fig. 347), dessen Kühlrohre horizontal angeordnet sind. Sie können sowohl von frisch gekühltem als auch von bereits aus den Kellern zurückkehrendem Salzwasser durchflossen werden. Ein Ueberlauf für das gekühlte Süßwasser führt nach einem darunter befindlichen Sammelbassin, von welchem aus der Zufluss nach den Gährbottichen und dem Bierkühler geregelt wird.

Kräftig wirkende Rührwerke in beiden Bassins verhindern ein Gefrieren des bis auf -1°C . abgekühlten Süßwassers. Die Anordnung und Konstruktion der Kompressoren und der Dampfmaschine geht aus den Figuren 350, 352 und 353 zur Genüge hervor, so dass sich die Erläuterung auf einige wesentliche Punkte beschränken kann.

Die Dampfmaschine ist mit Ventilsteuerung nach dem neuen Patent von Collmann versehen und für eine Leistung von 200 indicirten P.S. dimensionirt.

Als Cylinderabmessungen wurden 450 mm für den Durchmesser des Hochdruckcylinders und 700 mm für denjenigen des Niederdruckcylinders gewählt. Der gemeinschaftliche Kolbenhub beträgt hierbei 900 mm, die normale Tourenzahl 70 pro Minute. Das Schwungrad ist als Riemenscheibe ausgebildet und dient zum Antrieb der Brauereimaschinen, Pumpen, Rührwerke etc.

Beachtenswerth ist die Einfachheit und der ruhige Gang der Steuerung. Sie ergibt ausserordentlich sanften Schluss der Ventile und exaktes stossfreies Arbeiten aller Steuerungsorgane. Sowohl am Hoch-, als auch am Niederdruckcylinder angebracht, wird sie bei ersterem durch einen direkt am Cylinder sitzenden Regulator, bei letzterem durch ein Handrad verstellt. Diese, unter ähnlichen Umständen noch immer viel versäumte Konstruktion, den Füllungsgrad am Niederdruckcylinder auch während des Ganges der Maschine verändern zu können, hat sich bei der stark schwankenden Belastung in Folge Zu- und Abschaltens des Brauereibetriebes und der Kompressorcyliner als Nothwendigkeit erwiesen.

Die Kompressoren haben einen lichten Durchmesser von 380 mm; an den Cylinderdeckeln sind je drei Druck- und drei Saugventile angebracht, von welch letzteren je eines mit einer Regulirspindel versehen ist (Fig. 350), um gegebenen Falls das Saugventil in geöffnetem Zustand festzustellen und den Kompressor somit ausser Betrieb zu setzen, ohne genöthigt zu sein,

die Maschine anzuhalten und den Kolben abzukuppeln. Sowohl Mantel als auch Kolbenstange sind mit steter Wasserkühlung versehen und die Anordnung ist so getroffen, dass jederzeit das richtige Funktionieren derselben an einem Ausgusstrichter des Ablaufrohres beobachtet werden kann.

Eine besondere Schmierung der Kompressorcyliner erweist sich in Folge der bekannten Eigenschaft der schwefligen Säure als überflüssig. Dies kommt in hohem Maasse dem Verdampfer zu statten, da dessen innere Kühlfläche vor dem, den rationellen Betrieb nachtheilig beeinflussenden, isolirenden Oelansatz vollständig geschützt ist.

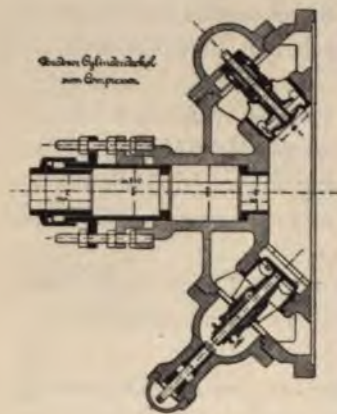


Fig. 350.

Die früher wegen der Dichtigkeit so grosse Schwierigkeiten bietende Konstruktion der Stopfbüchsen ist hier mit grosser Sorgfalt in zweckentsprechender Weise durchgebildet. Zwei getrennte hintereinander liegende Baumwollpackungen ergeben vollkommenes Abdichten, so dass im Maschinenraum kein Geruch nach SO_2 wahrnehmbar ist. Auch die so oft angewendete Gefahr des Ansaugens von Luft und der dadurch gegebenen Bildung von Schwefelsäure ist ausgeschlossen. Freilich wird die gute Dichtung erleichtert durch den geringen Arbeitsdruck von nur 3 Atm.; aber gerade hierin liegt ein Vortheil des Pictet-Verfahrens; denn einerseits ist die Möglichkeit einer leichteren Bauart aller Maschinenteile, andererseits erhöhte Betriebssicherheit gegeben. Diese letztere namentlich auch in Folge des Umstandes, dass man von jeder Schmierung der Kompressorcyliner unabhängig ist.

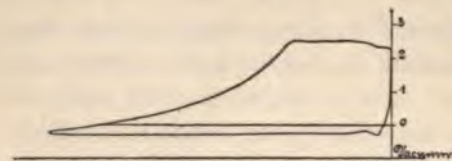


Fig. 351.

Die Ventile sind aus Stahl hergestellt, ihre Sitze bestehen aus Rothguss. In Folge starker Federbelastung ergeben sie exakten rechtzeitigen Abschluss, wie aus nebenstehendem Kompressordiagramm hervorgeht.

Die Kupplung zwischen den Kolbenstangen der Dampf- und Kompressorcyliner geschieht in einfacher Weise durch Aufsetzen von zweitheiligen Büchsen und Verschrauben derselben mit den hinteren Kreuzköpfen.

Noch bemerkt sei, dass die ganze Maschinenanlage den Eindruck sehr solider, gediegener Ausführung macht und in jeder Beziehung den zu stellenden Anforderungen genügt.

Versuche.

Garantirt waren von der Firma Schüchtermann & Kremer:

1. Die Leistung der Kältemaschine zu 300 000 W. E. pro Stunde in den Grenzen von -2 bis -5° C. der Kältelösung oder 300 Centner Eis pro 24 Stunden.
2. Der Dampfverbrauch der Maschine zu 8,25 kg bei 6 Atm. und 7,5 kg bei 8 Atm. Ueberdruck Eintrittsspannung bei Kondensation.

Die Versuche fanden am 17. Oktober 1897 statt und hatten lediglich den Zweck, festzustellen, ob die eingegangenen Garantien erreicht waren. In Folge sorgfältiger Vorbereitungen konnten sie an einem Tage beendet werden.

Kältelieferung. Mit Rücksicht auf das gegebene, verhältnissmässig geringe Volumen der Salzlösung in der Kufe und um die Versuche möglichst lange Zeit ausdehnen zu können, wurde die Kältelieferung jedes Kompressors allein untersucht.

Der Inhalt der Kufe ergab sich abzüglich des Volumens der Verdampferrohre zu 45,8 cbm, wobei die Salzlösung 1,48 m hoch stand.

Es wurde zunächst der linke Kompressor angekuppelt und der Versuch nach Erreichung des Beharrungszustandes bei einer Temperatur

der Salzlösung von $-1,5^{\circ}$ C. begonnen. Diese, in Zeitabschnitten von fünf zu fünf Minuten abgelesen, zeigte an sechs verschiedenen Punkten des Behälters in Folge lebhafter Circulation des Salzwassers keine nennenswerthen Differenzen, so dass man sich mit Beobachtung derselben an nur zwei

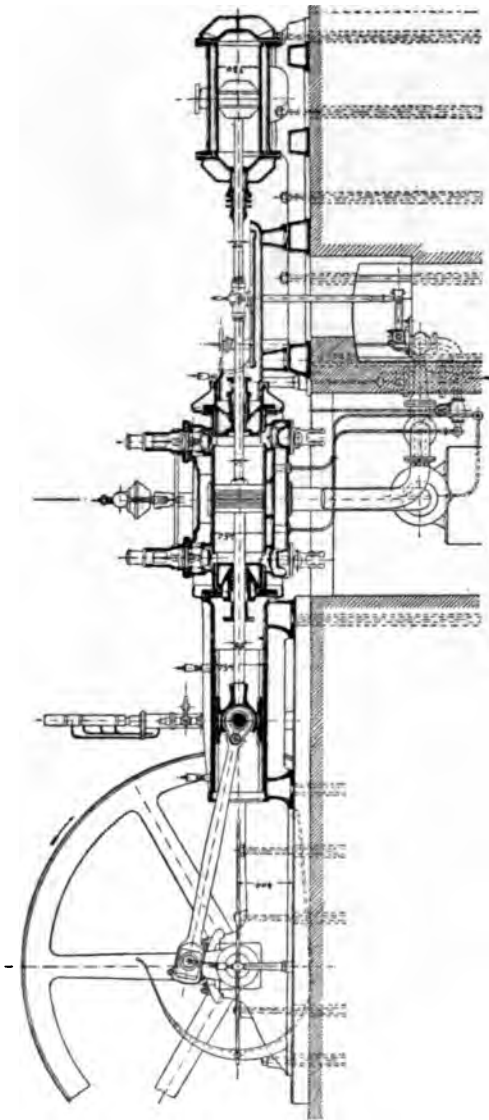


Fig. 362.

verschiedenen Stellen begnügen konnte. Nach 70 minutlichem Betriebe war eine Temperatur von $-5,5^{\circ}\text{C}$. erreicht und musste hier, den Bedingungen gemäss, der Versuch beendet werden.

Das spezifische Gewicht der Salzlösung wurde mittels des Bauméschen Aräometers bestimmt, welches bei der auf dem Instrument angegebenen Temperatur von $17,5^{\circ}\text{C}$. 16° zeigte. Nach den physikalisch-chemischen Tabellen von Landolt und Börnstein ergibt sich hieraus das spezifische Gewicht der Salzlösung zu 1,122 und die spezifische Wärme zu 0,846.

Obige 45,8 cbm Salzlösung besitzen demnach ein Gewicht von 51388 kg und entspricht deren Abkühlung um 4°C . während 70 Minuten einer stündlichen

Kältelieferung von 149116 W. E. Dieser Werth bleibt zwar etwas hinter der Garantie zurück, aber dies erklärt sich lediglich aus dem Umstande, dass nicht genügend SO_2 in den Rohrsystemen vorhanden war.

Vor Beginn des zweiten Versuches mit dem zweiten Kompressor wurde deshalb noch etwas Säure nachgefüllt und nun war die Leistung

grösser. Es wurden bei diesem Versuch 164000 W. E. geleistet, so dass eine gesammte stündliche Kälteerzeugung von 313100 W. E. erzielt wurde. Da hiermit bereits die Garantie um 13100 W. E. überschritten war, so konnte auf eine Wiederholung des ersten Versuchs verzichtet werden.

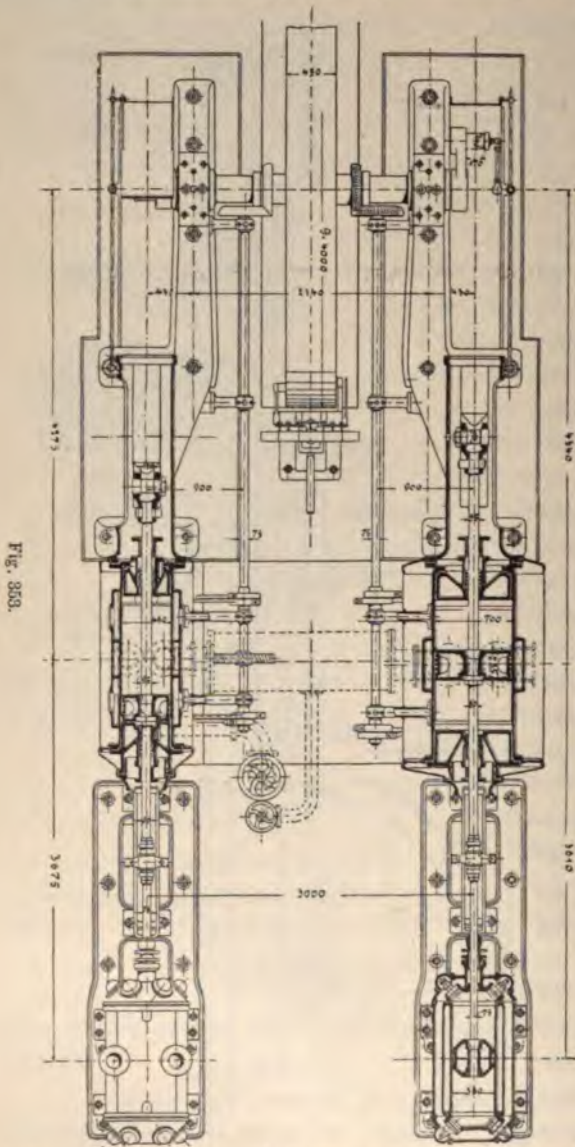


Fig. 383.

Dampfverbrauch. Mit Rücksicht auf die vielen Abzweigungen der Dampfleitung zwischen Kessel und Maschine wurde beschlossen, den Dampfverbrauch aus dem Kondensat und dem Kondenswasser zu bestimmen.

Da die Dampfmaschine vorläufig noch nicht voll belastet ist, so musste angestrebt werden, den Versuch wenigstens mit der erreichbaren Maximallast auszuführen. Es wurde deshalb der volle Brauereibetrieb an die Maschine gehängt. Immerhin konnten, wie sich später ergab, nur ca. 140 Pferde indicirt werden.

Zur Messung des Kondensats war eine Vorrichtung getroffen worden, mittels welcher abwechselnd zwei auf Dezimalwagen stehende Tanks gefüllt wurden. Sämmtliches Kondenswasser, das sich hinter dem Absperrventil bildete, wurde durch Wägung bestimmt.

Die mittlere Admissionsspannung betrug 6,17 Atm. Ueberdruck, mittlere Umdrehungszahl 67,6 pro Minute.

Diagramme wurden am Anfang alle 5 Minuten, später in Folge der grossen Gleichförmigkeit alle 10 Minuten genommen; aus denselben berechnet sich die mittlere ind. Leistung zu 143,3 P.S.

Das Kondensat betrug während des dreistündigen Versuchs im ganzen 2711 kg, das Kondenswasser innerhalb der Maschine aus Heizung etc. 354 kg, so dass sich ein Gesamtverbrauch von 3065 kg ergibt. Auf Pferd und Stunde umgerechnet, entspricht dies einem Dampfverbrauch von 7,13 kg. Die Garantie mit 8,25 kg bei 6 Atm. Spannung wurde also auch hier nicht nur erreicht, sondern erheblich unterschritten.

Mit Rücksicht auf die schwache Belastung der Maschine (nur 143 statt 200 P.S.) muss dieses Resultat als sehr günstig bezeichnet werden.

17. Ein Hopfenkühlraum von H. Pontifex and son's mittels Farringdons Ammoniak-Kompressionsmaschine.

Die kleine Farringdon-Maschine ist in Fig. 354 abgebildet, Fig. 355 stellt den Kühlraum dar, und zwar ist *A* der Kompressor, *C* der Kondensator, *D* die Expansionsrohre, *B* der Oelreiniger. Der Berieselungskondensator ist aus der Zeichnung zu erkennen. Das Verdampferrohrsystem *D* wird mittels Salzsoole berieselt, welche in das mit Salzsoole angefüllte Bassin *E* fliesst. In diesem Bassin rotirt die Trommel *F*, welche aus einer Anzahl von gusseisernen Cylindern besteht, während die Soole über die Ammoniakverdampferrohre *D* mittels einer Pumpe gedrückt wird. Dort berieselt sie die Rohre. Die zu kühlende Luft macht den Weg, der durch die Pfeile angedeutet ist. Sie wird bewegt durch den Ventilator *H*, zuerst über den Verdampfer, dann durch die rotirende Trommel *D* in den Kühlraum hinein. Der Apparat hat denselben Zweck, wie der Linde'sche Scheibenapparat und der Osenbrück'sche Tropfapparat, die bereits beschrieben sind.

Raum-
isolirung.

Der Raum ist gut isolirt, ganz ähnlich wie es auch in Deutschland gemacht wird. Die Wände sind doppelte Spundwände mit einem Zwischenraum von 30 bis 40 cm, der mit dem Isolirmaterial (Infusorienerde, Blätterholzkohle, Schlackenwolle etc.) angefüllt ist.



Fig. 354.

Isolir-
materialien.

Um diese Art der Isolirung deutlich zu machen, diene die Fig. 356, in welcher ein kleiner Kühlraum derselben Gesellschaft dargestellt ist. Dieselbe giebt die in England gebräuchlichen Temperaturen an für Hopfen zu -2 bis -4° C., für Fleisch von -2 bis -5° , für Geflügel, Wild und Fisch -4 bis -7° , für Butter -6 bis -8° , für Import-Hammel- und Rindfleisch -5 bis -10° .

Es seien hier einige Bemerkungen über

Isolirmaterialien eingefügt. Zwischen die beiden doppelten hölzernen Spundwände, die in Deutschland in Fleisch- und anderen Kühlräumen mit Vorliebe ebenfalls angewendet werden, füllt man den Zwischenraum fest mit Isolirmaterial

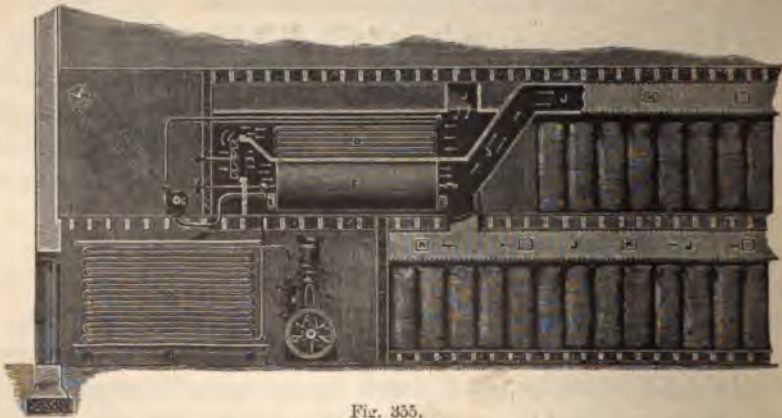


Fig. 355.

aus, nachdem dieselben mit gutem dauerhaften Papier oder harter Pappe beklebt worden sind. Das geschieht mit Vorliebe, um im Falle

ssens der Bretter in den Spundwänden nach aussen Luftwechsel zu hindern.

Es werden folgende Isolirmittel verwendet:

Schlackenwolle ist ein ausgezeichnetes Isolirmittel, wirkt aber störend auf Eisen. Deshalb ist sie auf Schiffen nicht anzuwenden, wo Wände der Kühlräume von Eisen hergestellt sind. Da Schlackenwolle gepackt werden muss, weil namentlich die stillstehende Luft in den ren gut isolirt, so bringt sie auch bei Holzwänden mancherlei Uebelnde mit sich, z. B. in Folge Reissens der Wände Luftdurchgang und rminderung der Isolirfähigkeit.

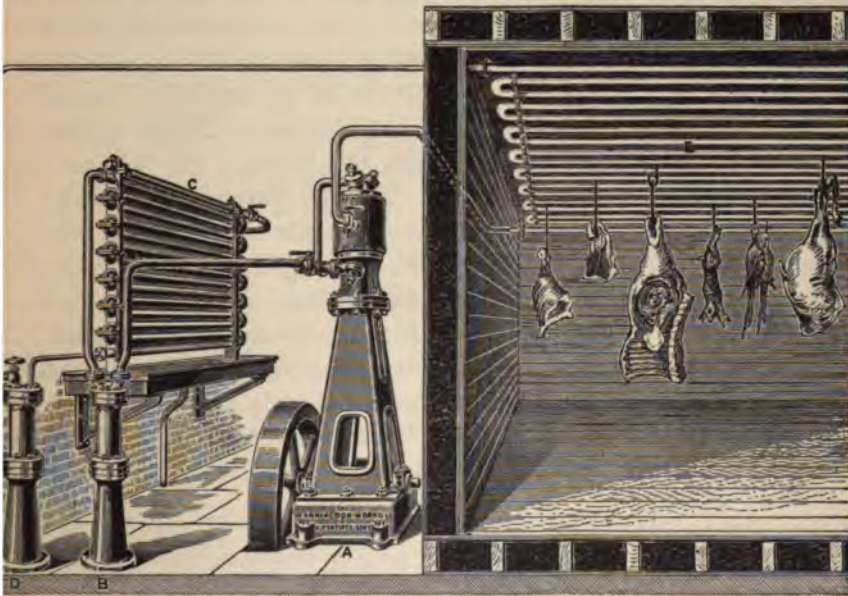


Fig. 356.

Filz ist schwer trocken zu halten, wegen seiner hygroskopischen genschaft, und verliert dann an Isolirfähigkeit.

Torfgrus ist ein ausgezeichnetes Isolirmaterial, wenn es in starken ichten von wenigstens 50 bis 80 cm angewendet wird und vollkommen eken gehalten werden kann, d. h. zwischen Mauerwänden, die mit Cement geführt sind. Häufig ist Torf aber eine Brutstätte für Würmer und ekten und fault, sobald er nass wird.

Sägespäne verhalten sich ganz ähnlich.

Asche isolirt sehr mangelhaft.

Infusorienerde (Kieselguhr) isolirt sehr gut, und steht bei richtiger wendung in Konkurrenz mit der jetzt sehr viel eingeführten Cartvale- ätterholzkohle.

Die Infusorienerde der Lüneburger Haide enthält in rohem Zustande ausser den kleinen Kieselpanzern der Infusorien noch etwas organische Substanzen, die bei hohen Temperaturen leicht zur Selbstentzündung gelangen. Man muss sich daher vorsehen, sie nicht in rohem Zustande z. B. zur Isolirung von Dampfkesseln oder Dampf- oder Heizröhren zu verwenden. In calcinirtem Zustande, in dem sie meistens geliefert wird, ist die Anwendung ausserordentlich gut. Zur Isolirung von Kühlräumen ist sie aber auch in rohem Zustande zu verwenden. Sie wird geliefert von G. W. Reye & Söhne in Hamburg, die aus ihr die verschiedenartigsten Verwendungen und Formen eingeführt haben, z. B. auch Schalen zur Isolirung von Röhren etc. Das Gewicht pro Cubikmeter ist etwa 200 bis 220 kg, und der Preis pro 1000 kg 65 Mark. Die Blätterholzkohle ist schottisches loses Meilerfabrikat, wiegt pro Cubikmeter geschüttet 160 bis 165 kg, fest gepackt 190 bis 195 kg. Der Preis für 100 kg ist je nach der Geschäftslage 85 bis 110 Mark bei den Lieferanten Allut Noodt & Meyer in Hamburg. Holzkohle ist nicht hygroskopisch, zieht üble Gerüche an, d. h. sie ist ein Desinfektionsmittel und wurmsicher. Von der Cartvale-Gesellschaft wird eine Vergleichstabelle veröffentlicht, die man für richtig halten muss, bis Unrichtigkeiten nicht nachgewiesen sind. Dr. Wallace, beeidigter Chemiker in Glasgow, benutzte Blechkästen von 1 Cubikfuss Inhalt ($1 \times 1 \times 1$), welche von anderen von 8 Cubikfuss Inhalt ($2 \times 2 \times 2$) umschlossen waren. Der Zwischenraum war mit dem Versuchsisolirmaterial angefüllt. Der innere Kasten wurde voll Eis gepackt, das Schmelzwasser mittels eines Röhrchens nach aussen geleitet und aufgefangen. Die Versuche wurden gleichzeitig gemacht und dauerten 12 Tage. Die Schlüsse können aus der Tabelle gezogen werden.

Versuchsergebnisse über den Isolirwerth verschiedener Materialien
von Dr. Wm. Wallace in Glasgow.

Versuchsdauer = 12 Tage.

Isolirmaterial	1 Durchschnittlicher Wasserablauf in ccm pro Tag	2 Gewicht von 7 Cubikfuss Material Pfd. engl.	3 Berechneter Schmelzverlust (ohne Rücksicht auf Gewicht)	4 Berechnetes Gewicht	5 Resultante aus 3 und 4
Schlackenwolle	789	75	0,860	1	0,860
Cartvale-Blätterholzkohle	917	75	1	1	1
Filz	980	57	1,070	0,76	0,813
Kieselguhr	1044	100	1,138	1,33	1,513
Korkplatten	1168	106	1,273	1,413	1,798
Getheerte Korkplatten .	1217	128	1,327	1,7	2,255
Holzkohle in Stücken*)	1326	139	1,446	1,853	2,679
Asche	1943	273	2,110	3,64	7,716

*) Die Holzkohle wurde bei dem Versuche zu Stückchen von ca. $1\frac{1}{4}$ cm im Durchmesser gebrochen.

Die Fig. 357 bis 360 geben die Darstellung einer Isolirung in dem Schlacht- und Viehhof zu München, ausgeführt von der bekannten Firma L. Seyboth in München. Die Beschreibung befindet sich auf der Zeichnung.

Isolirung von Seyboth.

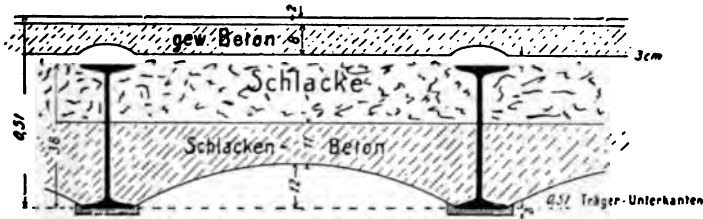


Fig. 357 a.

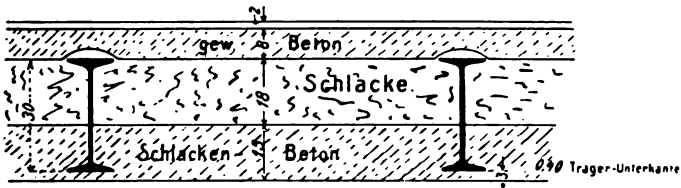


Fig. 357 b.

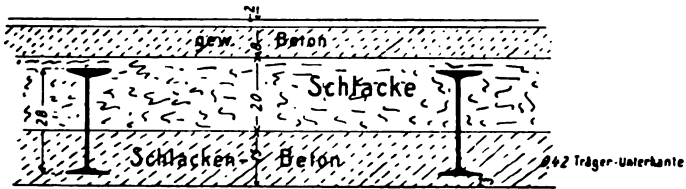


Fig. 358.

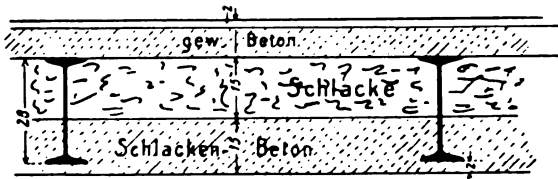


Fig. 359.

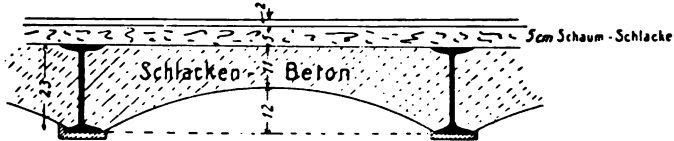


Fig. 360.

Ferner zeigen die Fig. 361 bis 363 eine Schiffskühlanlage von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen in Wiesbaden, bei welcher die erforderliche Beschreibung sich ebenfalls auf der Zeichnung befindet.

Schiffskühlanlage von Linde.

Um den Gegenstand der Isolirung weiterhin zu erörtern, will ich mich darin an die Arbeiten anlehnen, welche von einer der hervorragendsten

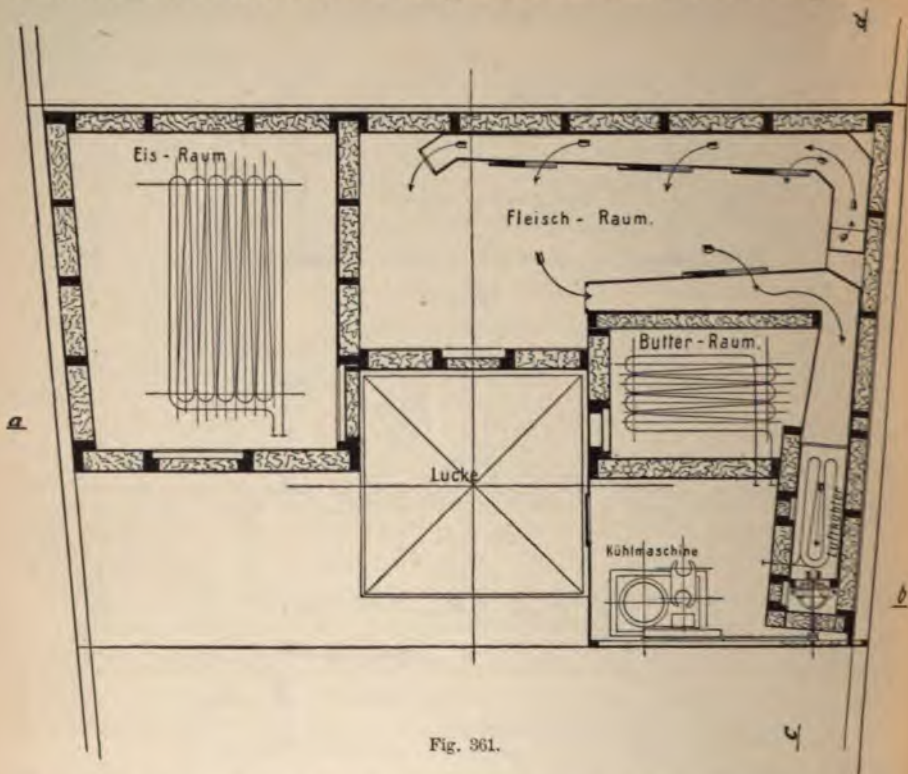


Fig. 361.

Isolirungen Firmen in dieser Branche, den Herren Grünzweig & Hartmann in Ludwigs-
hafen a. R., ausgeführt werden.

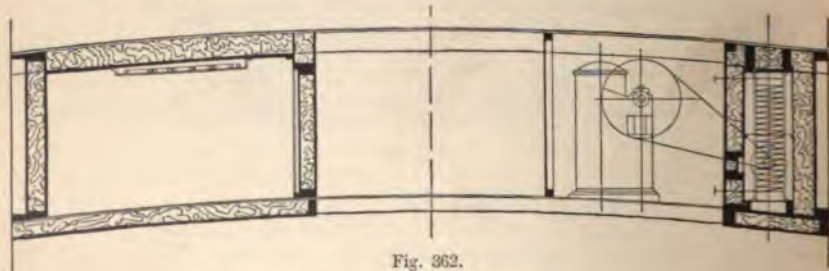


Fig. 362.

Die Firma stellt her für Bauzwecke: Korksteinplatten für Kühl- und Gefrieranlagen, Bekleidung des Fussbodens, der Wände (an Stelle der Luftschicht) und der Decke. Bei letzterer kann die Isolirung je nach den Verhältnissen unterhalb oder oberhalb derselben angebracht, oder es kann die Decke unmittelbar aus Korksteinen hergestellt werden.

Für Umhüllungszwecke liefert die Firma:

1. schwarze wasserdichte Korkschaalen 25 mm stark für Ammoniak-, Schwefligsäure-, Kohlensäureleitungen, ferner für Salzwasser- und Süsswasserleitungen,
2. schwarze wasserdichte Korkplättchen 25 mm stark, meistens in doppelter Lage für runde Kühlapparate, Verdampfer, Süsswasserbehälter etc.,
3. Korksteinplatten für viereckige und ovale Kühlbehälter, namentlich Generatoren, und für Boden- und Wandisolirung.

Die Korksteine sind feuersicher und sind wegen sehr geringer Wärmeemission ein ausgezeichnetes Isolirmaterial. Sie können auch direkt Deckengewölbe zwischen Γ -Trägern benutzt werden, und tragen pro Quadratmeter bei 125 mm Stärke und 900 mm Spannweite 500 bis 800 kg Lastung, unter Umständen auch mehr.

Die Korkhülle für Rohr- und Behälterhüllungen besteht aus zwei Schichten, deren innerer Durchmesser gleich dem inneren Durchmesser der zu bedeckenden Röhre ist.

Die Isolirfähigkeit der Kork-

platten ist aus der auf Seite 466 abgedruckten Tabelle zu ersehen.

Ähnliches Fabrikat mit Kieselguhr liefern die Firmen G. W. Reye & Co. in Hamburg, A. Haacke & Co. in Celle und Julius Kathe in Deutz.

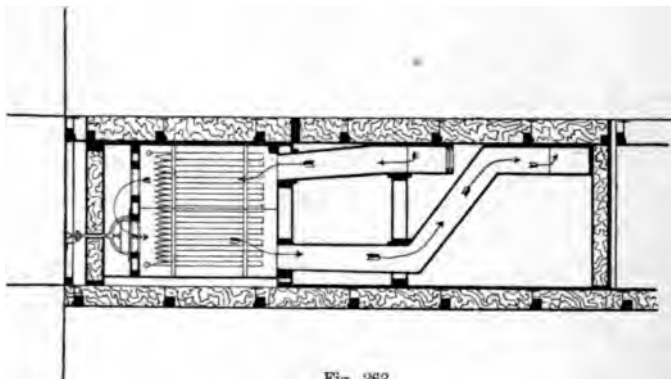


Fig. 363.

18. Kleine Kühlanlage der Linde British-Refrigeration Co. in London

Die kleine vertikale Linde-Kältemaschine zeigt die Fig. 365. Die Fig. 364 stellt diese Maschine in grösserem Maassstabe dar. Erklärung unnöthig. Aus der Zeichnung des Kühlraumes Fig. 365 ist wiederum die Isolirung zu erkennen, die mit Blätterholzkohle ausgeführt ist. Die Pfeile geben die Richtung der im Raum circulirenden kalten Luft an. Nach der Luftkühler an der Wand, wo die Maschine steht, ist zu sehen. Durch Regulirung der Luftausströmungsöffnungen kann in jedem der drei Räume die Temperatur nach Belieben hergestellt werden.

19. Eisfabrikation.

Die Eisfabrikation ist besonders stark in Nordamerika entwickelt, wo sie in verschiedenen Formen durchgeführt ist.

Das Kammer- oder Zellensystem entspricht unserem gewöhnlichen Verfahren. Die Eisblöcke werden in folgenden Grössen angefertigt:

Grösse der Blöcke	Gewicht der Blöcke	Gefrierzeit bei -9° C. der Salzlösung
100×200×600 mm	11 kg	12 Stunden
100×250×600 "	15 "	12 "
100×280×760 "	19 "	12 "
150×280×760 "	28 "	18 "
165×300×760 "	35 "	20 "
200×300×900 "	45 "	24 "
230×400×900 "	70 "	36 "
240×560×900 "	90 "	40 "
280×280×800 "	45 "	54 "
280×560×800 "	90 "	60 "
280×560×1100 "	135 "	60 "

Je dicker die Blöcke sind, desto längere Zeit ist zum Gefrieren nöthig. Die Form richtet sich nach dem Zwecke. Die kleinen Blöcke sind für Hausgebrauch, die grossen für Vorrathsräume.

Während in Deutschland für Klareis meistens destillirtes Wasser verwendet wird, dessen Herstellung mehrfach beschrieben worden ist, pflegt man in Amerika den Abdampf von Dampfmaschinen zu verwenden, den man zuerst durch einen Apparat streichen lässt, in dem sich das Oel absetzen soll, und dann in einem Kondensator zu Wasser verdichten lässt, dessen Oberfläche gekühlt wird durch das aus dem Ammoniakkondensator ablaufende Kühlwasser. Das Kondensat lässt man dann häufig durch ein Holzkohlenfilter reinigen.

Die Kosten werden wie folgt angegeben:

Eis pro Tag in Tonnen	Beamte pro Tag Mark	Arbeiter pro Tag Mark	Kohlen pro Tag 100 kg = 2 Mark	Oel, Licht und Diverses Mark	Summa der täglichen Ausgaben Mark	E i s	
						pro Tonne Mark	pro Ctr. Mark
1	8	4	3	2	17	17	0,85
2	8	4	6	2	20	10	0,50
4	12	4	12	2	30	7,5	0,38
6	14	4	18	2	36	6	0,30
10	14	4	27	3	48	4,8	0,24
15	15	8	40	4	67	4,5	0,22
20	15	8	48	4	75	3,75	0,20
25	16	18	52	4	90	3,60	0,18
30	16	18	57	5	96	3,20	0,16
35	16	18	65	6	105	3	0,15
40	18	22	69	7	116	2,90	0,14,
50	19	26	86	8	139	2,78	0,14
60	20	32	96	9	157	2,61	0,13
75	20	41	120	12	193	2,57	0,12,
100	22	60	150	16	248	2,48	0,12,

Wenn dazu die allgemeinen Unkosten, Zinsen, Amortisationen und dgl. hinzugerechnet werden, so entspricht es etwa denjenigen Kosten, die wir in Deutschland zu rechnen pflegen, d. h. die Kosten pro Ctr. Eis, die man doppelt ansetzen. Grosse Eisplatten werden meistens nur in Amerika angefertigt, wo man die Arbeitskraft billig hat, bei Wasserkraft. Die Platten haben etwa $0,9 \times 2,5$ bis $3,6$ bis $4,8$ m. Fig. 366 zeigt einen solchen Gefrierapparat von den Vulcan Iron Works, und die Fig. 367 eine Photographie einer solchen Eisplatte von $0,3 \times 2,5 \times 5$ m mit daneben stehenden Menschen, aus welcher die Durchsichtigkeit des Eises hervorgeht. Diese Photographie stammt von der Frick Co.

Die Fig. 368 und 369 stellen zwei Eiskräne derselben Firma dar.

Es wird auch von Interesse sein, in Fig. 370 und 371 eine Eisfabrik für 100 Ctr. Eis in 24 Stunden von der Case Refrigerating Machine Co. in Buffalo N. Y. zu sehen und in Fig. 372 bis 375 die Art der Isolirung von Kälteumfassen. Eine Erklärung wird im nächsten Hefenummerbeleg zur Verfügung sein.

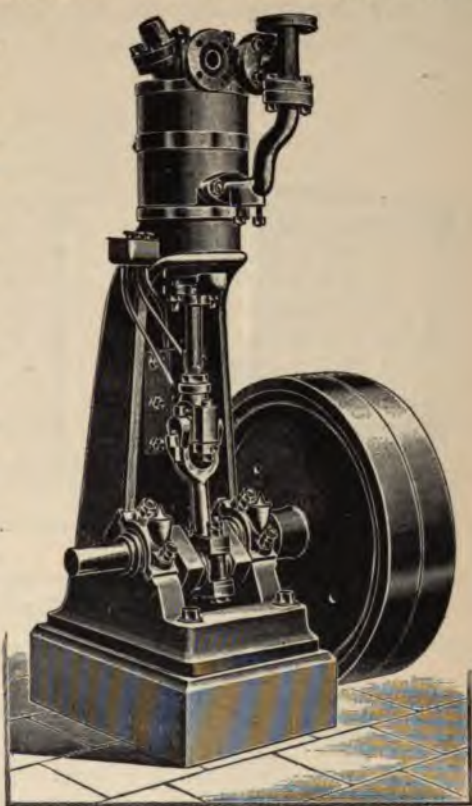


Fig. 364.



Fig. 365.

Kohlensäure-, Eis- und Kühlmaschinenanlage der Brasserie de Sochaux (Doubs) von Escher, Wyss & Co. in Zürich.

Der Betrieb dieser Anlage erfolgt durch eine nach dem Tandemsystem hergestellte Dampfmaschine mit Frickart-Steuerung. Die Cylinder-

dimensionen derselben sind: 340/520 Bohrung; 700 Kolbenhub. Die effektive normale Leistung beträgt bei einem Admissionsdruck von 8 kg und 60 Touren pro Minute ca. 60 HP.

Die Dampfmaschine ist mit einem Doppelkompressor V^a direkt gekuppelt; die beiden Kompressorcyliner sind in axialer Richtung auf der

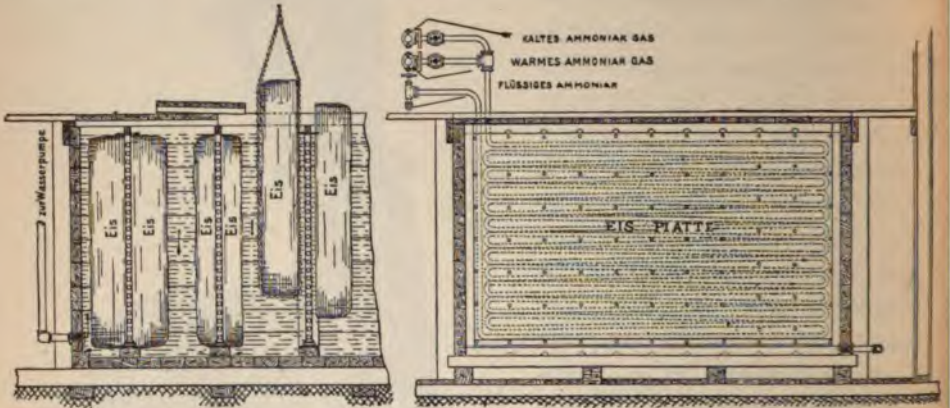


Fig. 366.

gemeinschaftlichen Fundamentplatte angeordnet und wirken auf die gemeinsame Kurbelwelle. Diese Anordnung ermöglicht es, im Bedarfsfall den Betrieb auch nur mit einer Kompressorhälfte aufrecht zu erhalten und



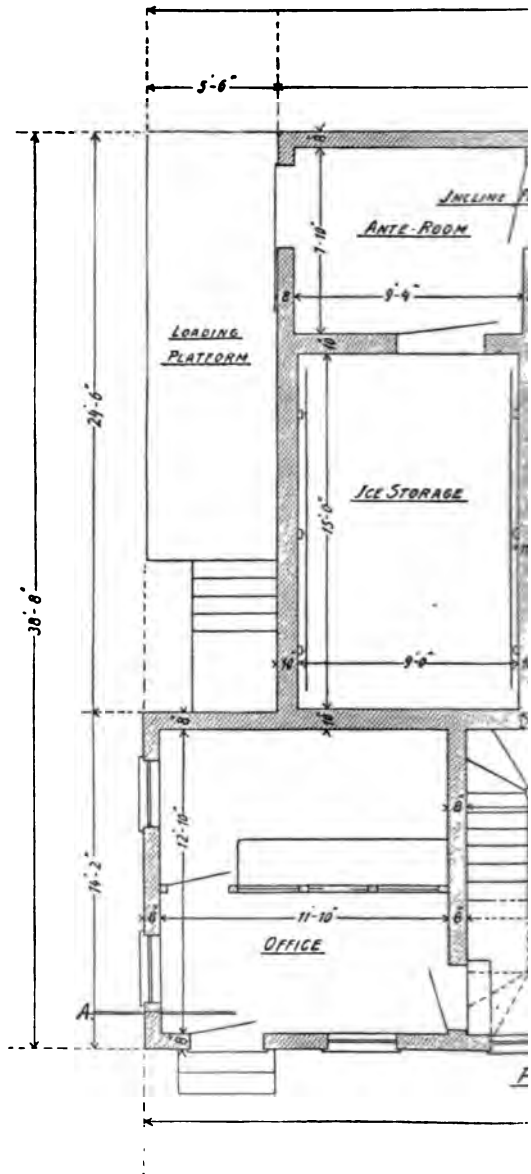
Fig. 367.

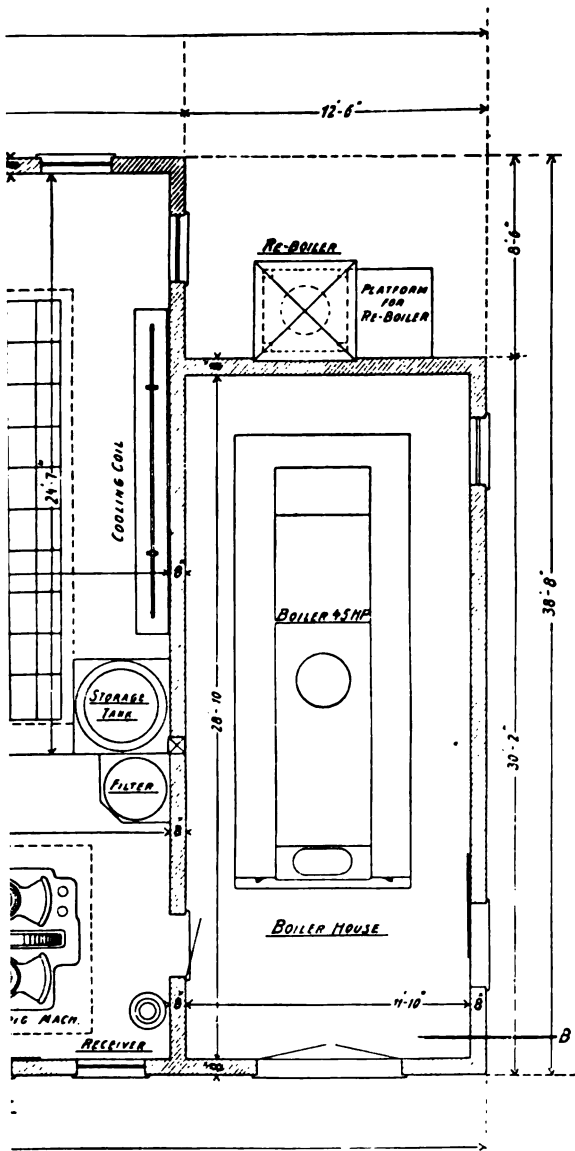
hat gegenüber der Disposition mit zwei getrennten Kompressoren den Vortheil eines geringeren Raumbedarfes.

Die volle Totalleistung des Doppelkompressors beträgt 245 000 Calorien bei -2 bis -5° C. im Salzbad gemessen. Die Maschine dient vorläufig zur Abkühlung von Gähr- und Lagerkellereien von etwa 1400 qm Boden-

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY.

ARTOR LEON AND
TILDEN FOUNDATIONS.





THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR LENOX AND
TILDEN FOUNDATION

fläche auf 1° bzw. 3° R.; sodann zur Herstellung des nöthigen Süßwassers für einen täglichen Sud von ca. 250 HL. für den Bierkühler und

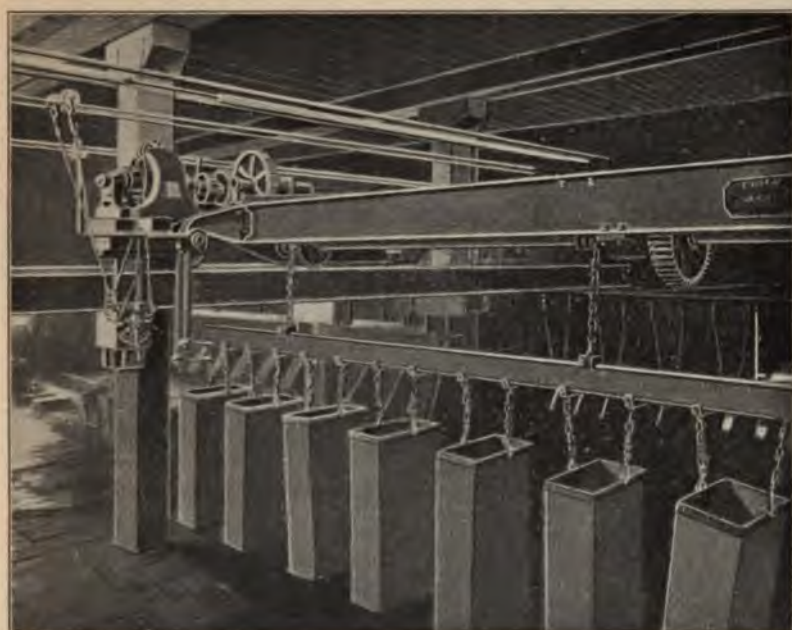


Fig. 368.

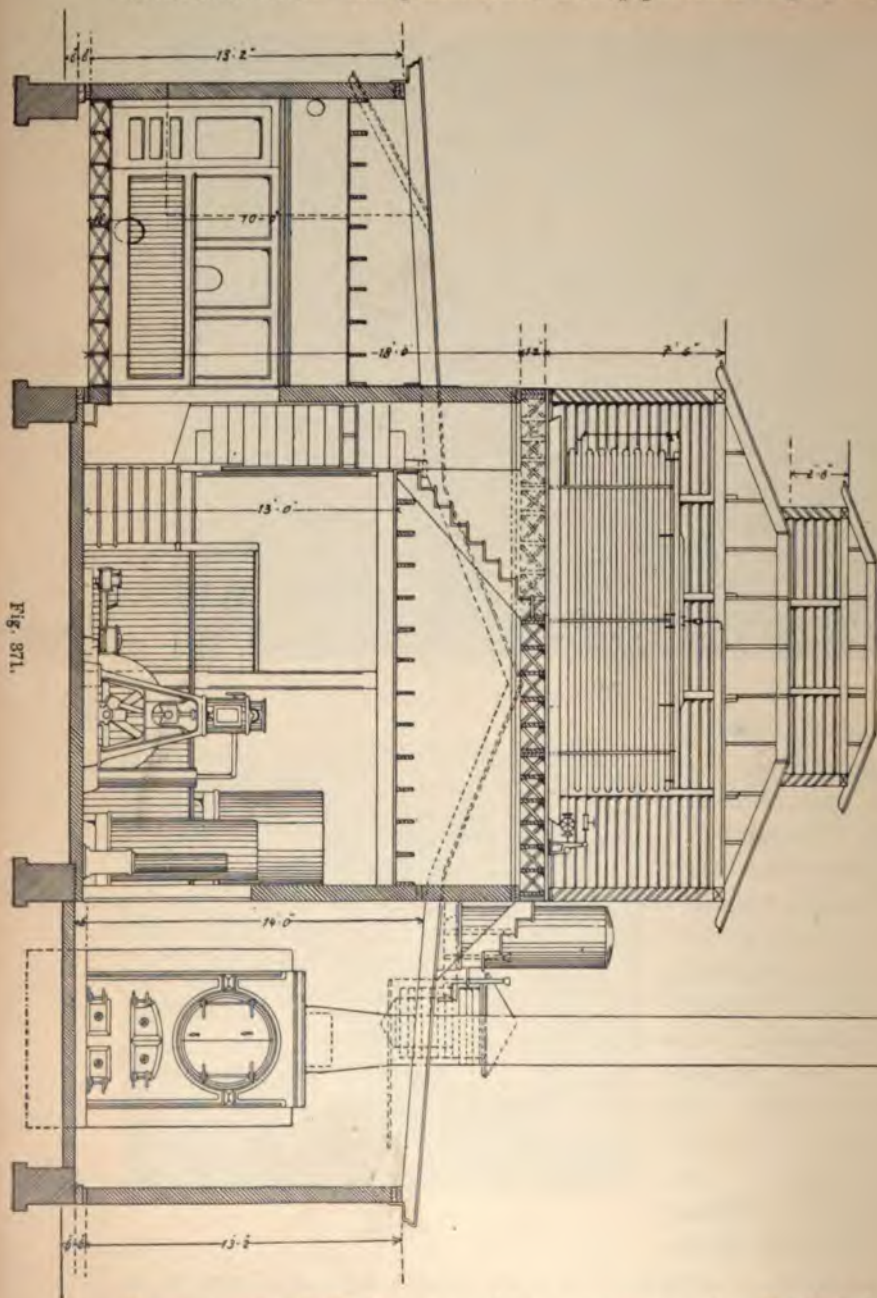
die Schwimmer des auf Gäh-
rung stehenden Bieres. End-
lich können auch noch täg-
lich einige Tausend Kilos
Eis hergestellt werden. Auch
bei der Disposition der Röh-
renapparate ist auf die
Möglichkeit eines vollständig
getrennten Betriebs Rücksicht
genommen. Dieselben sind
der beabsichtigten Betriebs-
erweiterung auf die volle
Kompressorleistung entspre-
chend dimensionirt. Die
Schlangensysteme bestehen
aus patentgeschweissten Eisen-



Fig. 369.

röhren in einem Stück hergestellt, um die Anordnung von Flanschen im Innern der Flüssigkeit nach Möglichkeit zu vermeiden. Diese Röhren schliessen an Sammelstücke an, welche des hohen Druckes wegen aus

einem Schmiedeblock hergestellt sind. Am Kompressorcyylinder sind zwei Sicherheitsventile mit gusseisernen Einlegeplättchen angeordnet, um eine



Explosion des Cylinders zu verhüten, wenn versehentlich bei der Inbetriebsetzung der Maschine die Druckabschliessung geschlossen sein sollte. De

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY,
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.

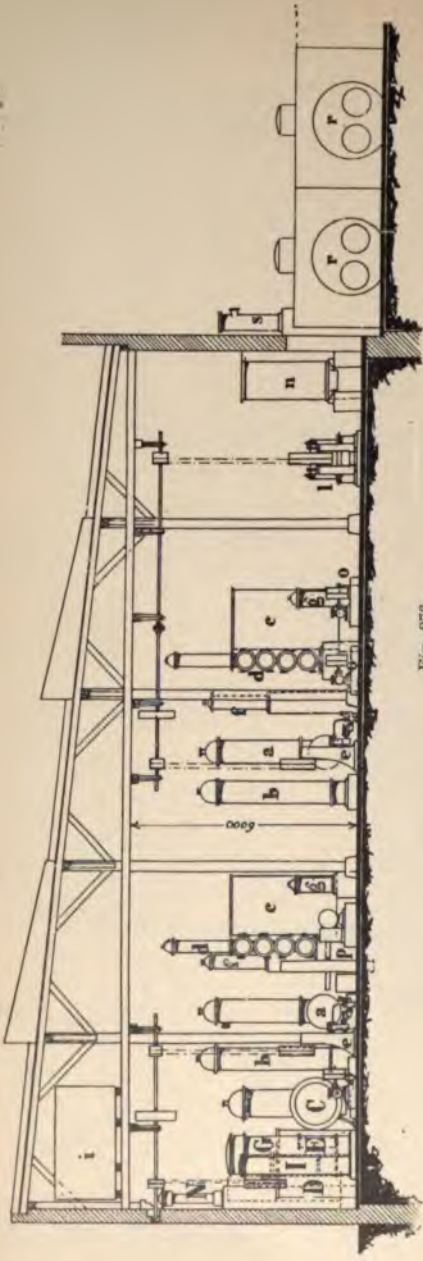
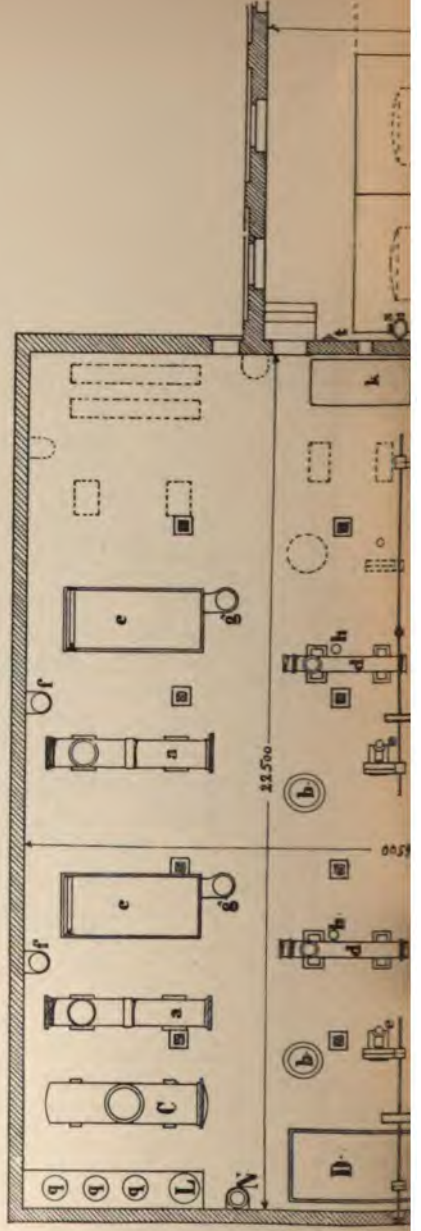


Fig. 376.



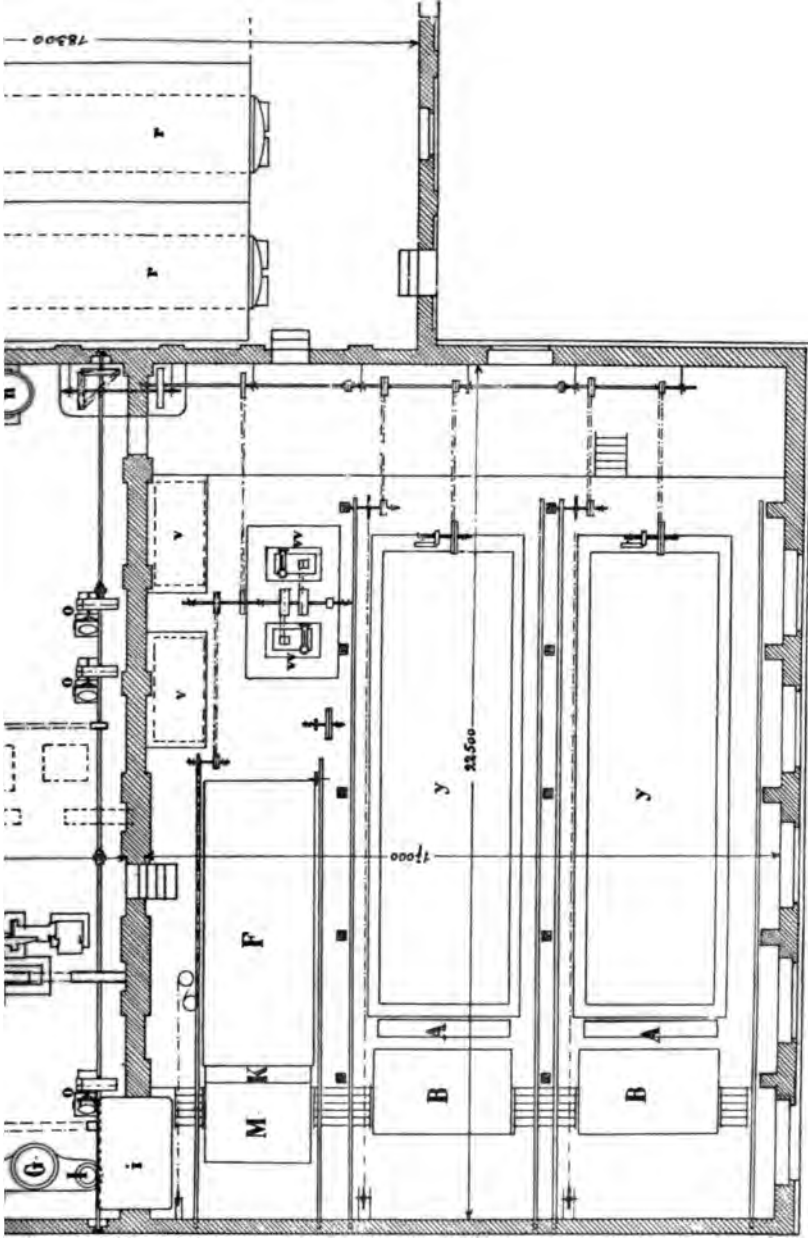


Fig. 977.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR LENOX AND
TILDEN FOUNDATION

ganze Schaden würde also in einem solchen Falle im theilweisen Verlust der CO₂-Füllung bestehen. Das Entweichen der CO₂ in den Maschinenraum hat nachgewiesenermassen durchaus keinen schädlichen Einfluss

INSULATION OF BRICK WALL

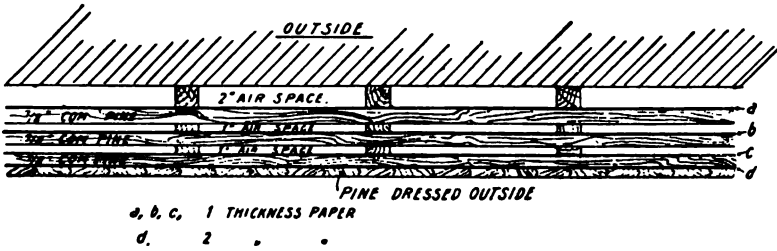


Fig. 372.

FREE AND EXPOSED WOODEN PARTITION

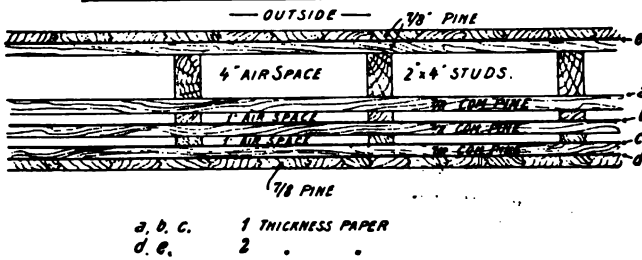


Fig. 373.

INSIDE PARTITION WHERE

TEMPERATURE ON BOTH SIDES IS GENERALLY EQUAL

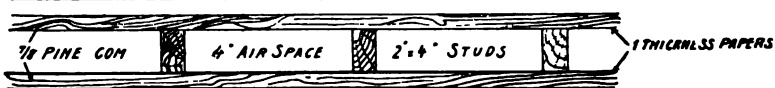


Fig. 374.

PARTITION BETWEEN FREEZING AND ORDINARY COLD STORAGE ROOM

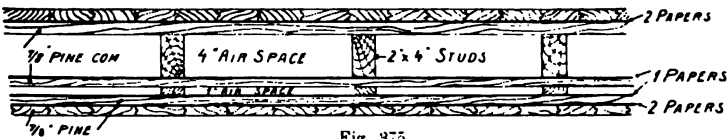


Fig. 375.

auf den menschlichen Organismus ebensowenig, wie das geringe Entweichen von Ammoniak oder schwefliger Säure. Die Anordnung der ganzen Anlage geht aus Fig. 376 und 377 deutlich hervor und erübrigt daher wohl eine detaillirte Beschreibung.

Kühlung in Schlachthäusern.

Von besonderer Wichtigkeit ist die künstliche Kühlung der Räume in Schlachthäusern, und zwar ganz besonders in öffentlichen Schlachthäusern und den für zum Export bestimmten Fleisch arbeitenden Schlachtereien.

Im Allgemeinen verwendet man zur Kühlung und Aufbewahrung des Fleisches Eis, das entweder Natureis oder mit Eismaschinen erzeugtes sein kann. Die Nachteile dieser Eiskühlung sind hauptsächlich, dass das Fleisch sehr bald sein frisches Ansehen verliert, fade von Geschmack wird, sich mit Schleim überzieht und Neigung zum Verderben zeigt. Der Grund dafür ist darin zu suchen, dass die feuchte kalte Luft der Eiskammern dem Fleische unzutraglich ist und demselben die nöthige Ventilation fehlt. Es ist daher bei Luftkühlung nöthig, das Fleisch in trockene kalte Räume zu hängen, die gut ventilirt werden, und zwar lehrt die Erfahrung, dass es sich bei 1° bis 2° am besten hält.

Zum Export bestimmtes Fleisch wird übrigens häufig nass der Einsalzung unterzogen, in besonders dazu bestimmten Behältern, die mit dem Fleisch, der Salzflüssigkeit und Natureis angefüllt werden. Hierbei haben die Unreinigkeiten und Beimengungen des Natureises denselben Einfluss, wie oben erwähnt bei Aufhängung des Fleisches in Eiskammern, dass sich nämlich das Fleisch mit Schleim überzieht und zum Verderben neigt.

Für öffentliche Schlachthäuser sowohl wie für Exportschlachtereien ist die künstliche Kühlung vor allen Dingen in den warmen Jahreszeiten von Wichtigkeit, damit man im Stande sei, das Fleisch im Sommer ebenso gut und ebenso lange aufzubewahren wie im Winter.

Bei Luftkühlung soll mittelst der in die Kühlräume eingeführten trockenen kalten Luft in denselben der Zustand und die Temperatur des Winters erzeugt werden. Da die erwärmte Luft gleichzeitig mittels der Kälteerzeugungsmaschine abgesaugt wird, so findet ein fortwährender Luftwechsel statt und das zu kühlende Fleisch befindet sich in einer stets reinen, trockenen, kalten Luft. Die Kühlung erfolgt allmählich und ist je nach der Stärke des Fleischstückes in 10 bis 15 Stunden soweit fortgeschritten, dass das Fleisch eine Temperatur von 2° bis 3° Wärme erreicht hat. Das so gekühlte Fleisch ist an Geschmack und Aussehen frisch.

Die Anlage von Kühlkammern ist, wie man sieht, im Schlachtereibetrieb unerlässlich. Im Kleinbetrieb sind solche Kühlanlagen kaum durchzuführen, dagegen ist das Mittel, das ganze Fleischergerbe diesen Vortheil geniessen zu lassen, durch Errichtung öffentlicher Schlachthäuser geboten, die mit allen Einrichtungen versehen sein sollten, welche in sanitärer und wirthschaftlicher Hinsicht erwünscht sind. Ist das der Fall,

so hat der erstrebte Schlachtzwang in öffentlichen Schlachthäusern nur Vortheile für den Kleinbetrieb im Gefolge.

Gut durchgekühltes Fleisch hält sich längere Zeit in gutem Ansehen und verträgt den Transport zu der konsumirenden Kundschaft auch im Sommer gut. Wenn der Betrieb der öffentlichen Schlachthäuser es gestattet den einzelnen Schlachtereien gesonderte Kühlkammern zu überlassen, in welchen sie ihr Fleisch bewahren, und aus welchen sie dasselbe entnehmen können, so ist dadurch der Bequemlichkeit in ausreichendem Maasse Vorschub geleistet.

In den Figuren 378 bis 380 ist ein solches Kühlhaus gezeichnet.

Der untere Raum des Kühlhauses dient ausschliesslich zur Vorkühlung des frisch geschlachteten Viehes. Die Längswände sind mit grossen Fensteröffnungen versehen, die von der Decke bis zum Fussboden reichen und durch stellbare Jalousien geschlossen sind. Der Fussboden ist mit Steinplatten belegt und die Decke aus starken Balkenlagen hergestellt. An den Balken sind starke horizontale Laufschiene aufgehängt, welche bis in das Schlachthaus führen und von dort zum Kühlhaus mässiges Gefälle haben. Auf diesen Schienen laufen starke Rollen mit Haken. Das abgehütete hakenreine Vieh wird vom Gewinde in den Haken der Rolle aufgehängt und so auf den Schienen in das Kühlhaus geschoben. Die Höhe der Schienen vom Fussboden beträgt circa 4,5 m, die Höhe des Kühlhauses im unteren Raum 5 m, so dass der Verkehr im Schlachthause durch das Abschieben des Fleisches nach dem Kühlhause nicht gestört wird.

Ueber jeder Reihe von Schlachtständen laufen zwei Schienen, zwischen welchen eine leichte Laufbrücke hängt, die das Ueberhängen vom Gewinde auf die Rolle ermöglicht. Da die Schienen nach dem Kühlhaus zu im Gefälle liegen, so ist nur ein geringer Anstoss erforderlich, um die Rolle in Bewegung zu setzen.

Im Kühlhaus verzweigen sich die Schienen in eine grössere Anzahl von Parallelschienen.

Das Fleisch hängt hier frei in gehöriger Entfernung von einander und ist dem Luftzug durch die Jalousien ausgesetzt. Im Winter werden letztere mehr oder weniger geschlossen, um den Raum frostfrei zu halten.

Das Fleisch kühlt hier bis einige Grade über der Lufttemperatur aus und ist im Sommer auf 15 bis 17° zu bringen, wenn es während der Nacht, also circa 12 bis 15 Stunden hängt.

Am anderen Morgen wird das Fleisch herabgenommen mittels einfacher Absetzwinden, die entweder an den Wänden angebracht und verschiebbar sind oder von der Decke herabhängen in Form der Differentialflaschenzüge.

Im oberen Stockwerk des Kühlhauses sind die Kühlkammern eingerichtet.

Nachdem das Vieh unten im Kühlraum in Viertel geschlagen und gewogen ist, wird das Fleisch mittels Fahrstuhl mit Seilradwinde in den oberen Raum gebracht.

Vor den Kammern liegt ein circa 3 m breiter Korridor, der den Zugang zu den einzelnen Kammern ermöglicht. Die Kammern mit gut isolirten Wänden erhalten nach der Rückseite doppelt verglaste Fenster.

In den Kammern hängt das Fleisch behufs weiterer Abkühlung an Haken. Vor den Kammern entlang oberhalb der Thüren ist der Luftkanal gelegt, welcher die kalte Luft von dem Luftkühler dem Raume zuführt. Jede Kammer erhält eine vom Hauptkanal abgehende Zuleitung mit regulirbarem Schieber, so dass die Luftzuführung nach Bedürfniss eingestellt, resp. die Kammer ganz abgestellt werden kann. Ein zweiter mit dem Luftkanal parallel laufender Kanal führt die warme, von der Maschine abgesaugte Luft fort.

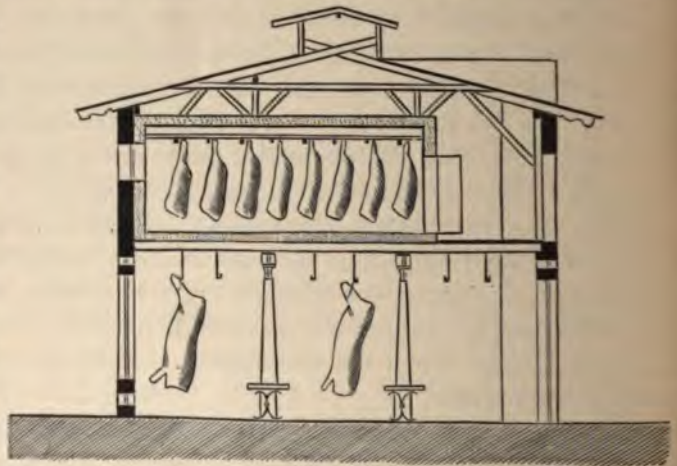


Fig. 378.

Aussen an den Kammern, jedoch in dieselben hineinreichend, sind Thermometer angebracht, durch welche die Temperatur in den Kammern kontrollirt werden kann, ohne letztere zu betreten.

Das Fleisch wird in den Kühlkammern in der Zeit von 10 bis 15 Stunden auf 2 bis 3°, im dicksten Theile des Fleisches gemessen, gekühlt, so dass es also in 30 Stunden nach der Schlachtung zum Konsum bereit ist. Bleibt das Fleisch zur längeren Aufbewahrung in den Kammern, so wird dieselbe fortwährend auf 2 bis 3° gehalten und das Fleisch kann 5 bis 6 und mehr Wochen ohne irgend welche Nachteile für Aussehen und Qualität aufbewahrt werden.

Es dürfte sich empfehlen, die Anzahl und Grösse der Kammern so einzurichten, dass einzelne Grossschlachter sich Kammern zum selbständigen Gebrauch miethen können. Zum allgemeinen Gebrauch dienen dann die grösseren Kammern.

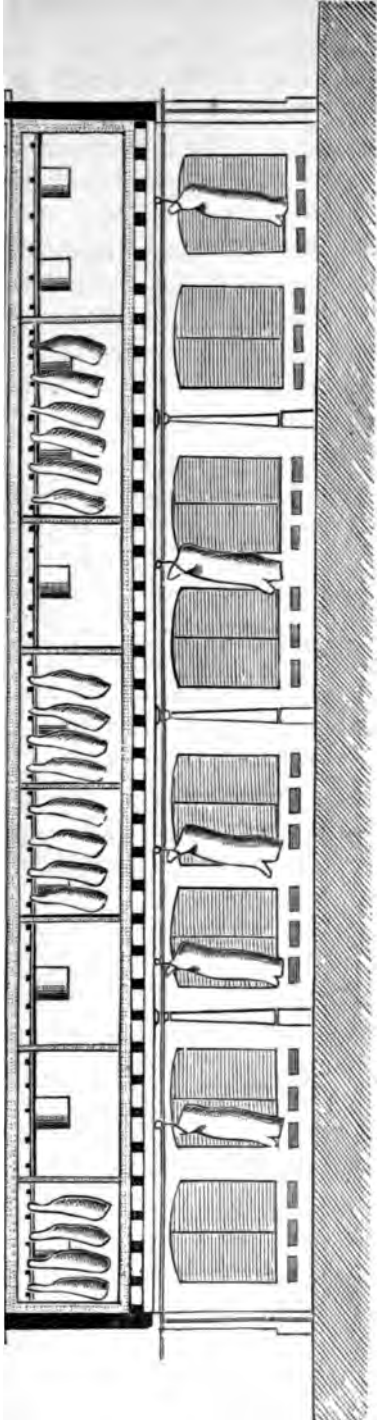


Fig. 879.

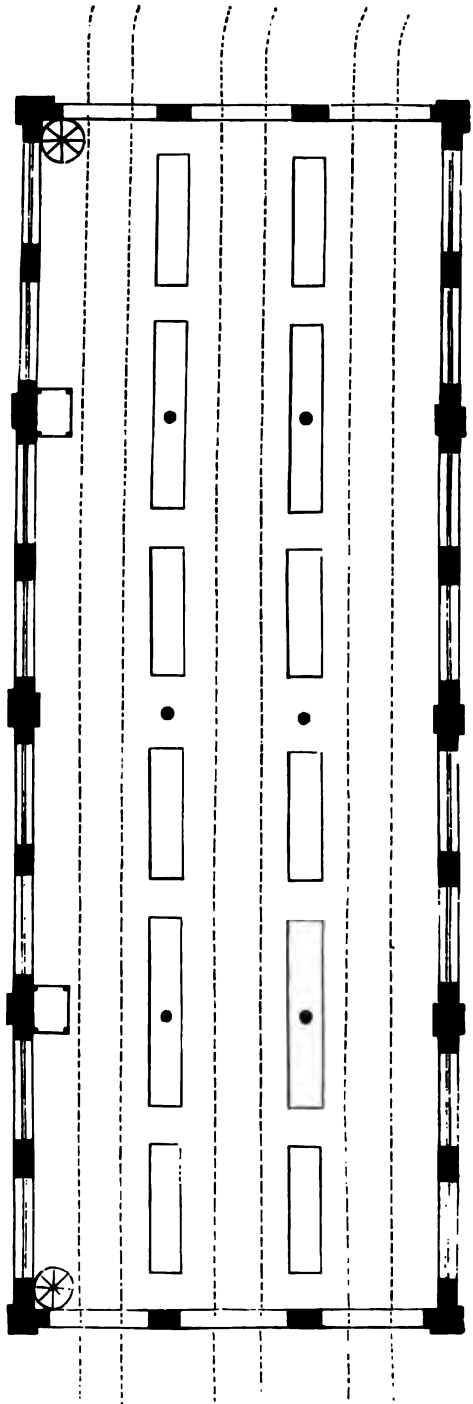


Fig. 880.

Erfahrungsgemäss ist zur Unterbringung des Fleisches in den Kammern pro Quadratmeter Grundfläche 3 bis 3,5 Ctr. Fleisch zu rechnen, wobei genügender Raum für das Begehen der Kammer, wenn sie mit Fleisch gefüllt, mit eingerechnet ist.

Der Kühlapparat oder die Kaltluftmaschine ist in möglichster Nähe des Kühlhauses aufzustellen, um unnütz lange Luftleitungen zu vermeiden.

Der Kühlraum für Kleinvieh und Schweine unterscheidet sich im Wesentlichen von vorstehender Einrichtung nur dadurch, dass die Laufschiene nur circa 2 m vom Fussboden gelegt sind, so dass auch der Raum dementsprechend niedriger ist.

Die Herren Hennicke & Goos machen eine Kosten- und Rentabilitätsberechnung einer solchen Anlage, die interessant genug ist, um sie hier zum Abdruck zu bringen. Dabei ist die früher beschriebene Bell-Coleman'sche Kaltluftmaschine zu Grunde gelegt.

„Es ist festzustellen, welche Kosten pro 100 Pfd. Fleisch durch die Kühlhausanlagen erwachsen, bezw. um wie viel das Fleisch vertheuert würde.

Da es schwierig sein dürfte, den durch die Anlage unzweifelhaft erreichten Nutzen, in Erhaltung der Fleischqualität, Vermeidung der im Sommer unvermeidlichen Verluste etc. in Zahlen auszudrücken, so ist es richtiger, Annahmen darüber nicht zu machen, sondern nur die vollen Kosten in Rechnung zu stellen, ohne den Nutzen in Abzug zu bringen.

Bei dem nachfolgenden Kostenanschlage ist eine Schlachthausanlage mittlerer Grösse zu Grunde gelegt und angenommen, dass pro Tag circa 500 Ctr. Fleisch zum Kühlen und 300 Ctr. zum Aufbewahren gelangen.

Die bei den Anlagen projektirte Maschine ist dieser Leistung bei 15 stündigem Betriebe angemessen, kann also erforderlichen Falls mit 24 stündigem Betriebe noch erheblich grösseren Anforderungen genügen.

Zur Unterbringung von 800 Ctr. Fleisch würde den vorstehenden Angaben gemäss $\frac{800}{3} = 266$ qm oder eventuell 270 qm Grundfläche zum

Kühlraum erforderlich sein. Hierzu kommt noch der 3 m breite Korridor, so dass ein Gebäude von 32 m Länge und 12 m Breite genügt. Dies würde dann eine untere Hängefläche von 384 qm ergeben, die bequem und gross genug wäre, um alles geschlachtete Vieh, auch das, welches nicht in die Kühlkammer gebracht würde, aufzunehmen.

Die Kosten der Anlage würden sich dann wie folgt stellen:

Maschinen incl. Aufstellung etc., Rohrleitung für Wasser und Dampf,	
Dampfkessel, Dampfpumpe und Speiseleitung	Mk. 43 000
Kesselhaus, Schornsteine und Kohlschauer	„ 10 500
Kühlhaus, 384 qm à 65 Mk.	„ 24 960
Einrichtung der Kühlkammern	„ 10 700
Winden, Fahrstühle, Laufschiene und Diverses	„ 8 840
	<hr/>
	Mk. 98 000

Bei diesen Anlagekosten ist zu berücksichtigen, dass bei Anlage eines Kühlhauses die Schlachthäuser so viel kleiner angelegt werden können, da der sonst in letzteren erforderliche Platz zum Hängen des Viehes jetzt nicht mehr erforderlich ist. Die Kosten der Schlachthausanlage werden somit verringert und würde dieser Betrag von den Kosten der Kühlhausanlage in Abzug zu bringen sein.

Bei vorhandenen älteren Anlagen, welche im Laufe der Jahre zu klein geworden sind und den vergrößerten Anforderungen nicht mehr genügen, wird die Anlage eines Kühlhauses die Schlachthäuser so wesentlich leistungsfähiger machen, dass von einer Vergrößerung derselben abgesehen und nahezu für denselben Kostenaufwand die Herstellung des Kühlhauses, exclusive der Maschineneinrichtung, beschafft werden kann.

In der nachfolgenden Rentabilitätsberechnung ist die volle Kapitalanlage zur Verzinsung in Rechnung gestellt, also auch in dieser Beziehung die effektiven Kosten der Kühlung nicht verringert, sondern auf ein Maximum gebracht.

Rentabilitätsberechnung über den Betrieb des Kühlhauses.

Verzinsung des Anlagekapitals 98 000 Mk. 4 Proc. p. a.	Mk. 3 920
Amortisation der Maschinenanlage 43 000 Mk. 10 Proc. p. a.	„ 4 300
	<u>Mk. 8 220</u>

Betriebskosten für 200 Tage.

Kohle pro Tag à 15 Stunden 27 Mk., in 200 Tagen	Mk. 5 400
Schmiermaterial, Beleuchtung etc. pro Tag 5 Mk.	„ 1 000
Lohn für Maschinist und Heizer pro Tag 8 Mk.	„ 1 600
Unterhaltungskosten der Anlagen p. a.	„ 500
	<u>Gesamte Betriebskosten Mk. 16 720</u>

Betriebseinnahmen für 200 Tage.

Pro Tag 500 Ctr. Fleisch zu kühlen pro Ctr. 14 Pf., pro Tag 70 Mk., für 200 Tage	Mk. 14 000
Pro Tag 300 Ctr. Fleisch aufzubewahren pro Ctr. 4 Pf., pro Tag 12 \mathcal{M} , für 200 Tage	„ 2 400
Miethen für die Kammern, welche einzelnen Meistern zum selbständigen Betriebe übergeben, p. a.	„ 320
	<u>Gesamtbetriebseinnahme Mk. 16 720</u>

Einnahme p. a. Mk. 16 720

Ausgabe p. a. „ 16 720

Rechnet man die Kosten der Kühlung des Fleisches mit 14 Pf. pro 100 Pfd., also mit 0,14 Pf. pro Pfd., so macht dies, den Preis des Fleisches mit 50 Pf. pro Pfd. angenommen, $\frac{1}{4}$ Proc. vom Werthe der gekühlten Waare.

Ebenso würden sich die Kosten des Aufbewahrens stellen, wenn man annimmt, dass das Fleisch am Schlachttag, am Montage, bis zum Verkaufstage, am Freitag und Sonnabend, also 5 Tage in der Kammer

Ein hübsches Beispiel für Kühleinrichtungen in Schlachthöfen bietet diejenige von Osenbrück & Co. in Hemelingen ausgeführte des Schlachthofes zu Bremen, die ich nachstehend beschreibe.

21. Kühleinrichtung des Schlachthofes und Viehmarktes zu Bremen.

Die Einrichtung wird durch die Fig. 381 bis 387 dargestellt, die Schlachthofanlage selbst ist vom Bremischen Staatsbaumeister Flügel entworfen.

Uns interessirt hier vor Allem die Maschinen- und Kühleinrichtung.

Der Dampf für Erwärmung und Betriebszwecke wird erzeugt durch zwei Steinmüllersche Patentwasserrohrkessel von 56,8 qm Heizfläche, auf 8 Atmosphären Ueberdruck konzeptionirt, welche bei normalem Betriebe pro Quadratmeter und Stunde circa 23 kg trocknen Dampf liefern.



Fig. 381.

Als Betriebsmotoren sind vorhanden:

a) Eine 50 pferdige Expansionsdampfmaschine mit durch den Regulator direkt beeinflusster Präzisionssteuerung (Drehschieber, welche in einer Richtung rotiren), Patent Siegel, welche betreibt:

1. Zwei Kolbenwasserpumpen, doppelwirkend.
2. Eine Kompressions-Ammoniakpumpe (Patent Aug. Osenbrück) für die Eismaschine.
3. Zwei Centrifugalpumpen, deren eine zur Förderung der gekühlten Chlorkalciumflüssigkeit aus den Generatoren der Eismaschine in die Luftkühlapparate, und die andere zum Rücktransport der erwärmten Chlorkalciumflüssigkeit in die Generatoren dient.

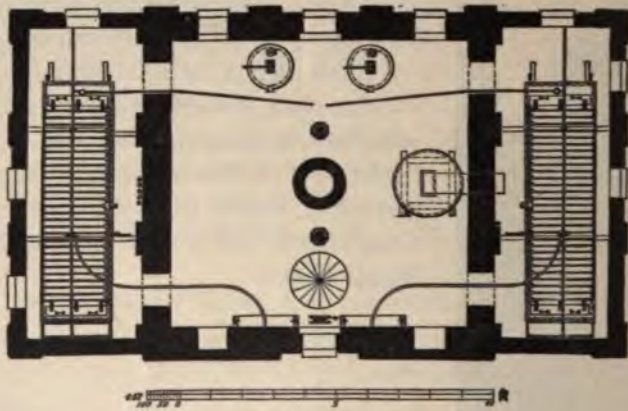


Fig. 382.

4. Ein Krygar'sches Schraubengebläse zum Entlüften des nach dem Patent von Aug. Osenbrück zur Klareisfabrikation gebrauchten Brunnenwassers.
5. Einen Ventilator für die Luftkühlung des Pferdefleischkühlraums.

b) Eine 10 pferdige Dreicylindermaschine Patent Siegel, welche zwei Ventilatoren betreibt à 280 cbm Luftförderung pro Minute, für die Luftkühlapparate (Patent Aug. Osenbrück) des grossen Kühlraumes. — Die Osenbrück'schen Ammoniak-Kompressionseismaschinen sind bereits beschrieben, ebenso der Apparat zur Erzeugung von Klareis.

Bekanntlich sind die Osenbrück'schen Ammoniak-Kompressionspumpen mit Oelkammern versehen, um die Entweichung des komprimierten Ammoniaks durch die Stopfbüchsen zu verhindern, bevor es von dort als flüssiges Ammoniak in die Schlangenhöhren der Kondensatoren übergeht, um darin bei der Verdunstung die Kälteerzeugung zu bewirken. Die Pumpe steht in Bremen auf der Kompressionsseite unter einem Maximaldruck von 12 Atmosphären, und auf der Saugseite unter einem Maxi-

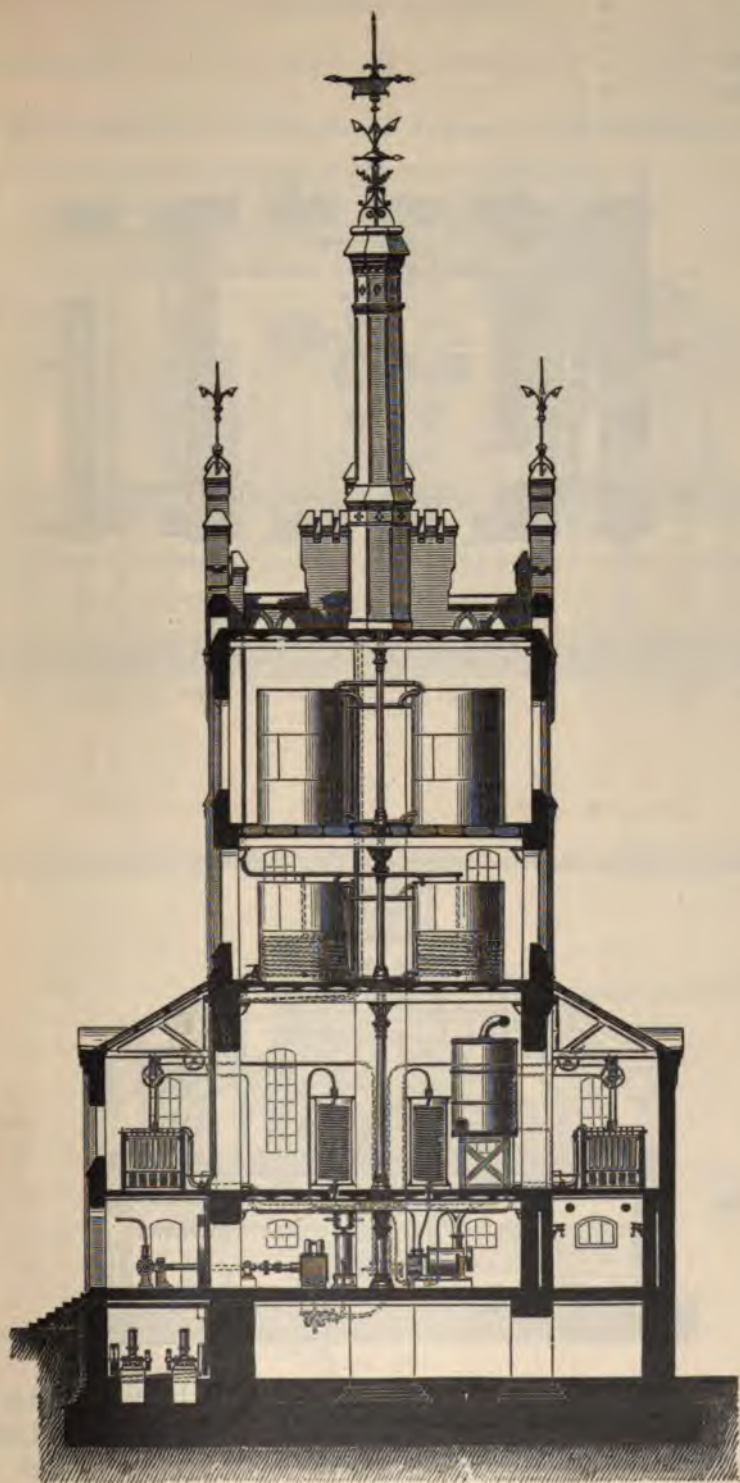


Fig. 383.

maldruck von $1\frac{1}{4}$ Atmosphären. Die Pumpe selbst ist bekanntlich eine rotirende.

Je niedriger die Temperatur des disponiblen Kühlwassers ist, um so

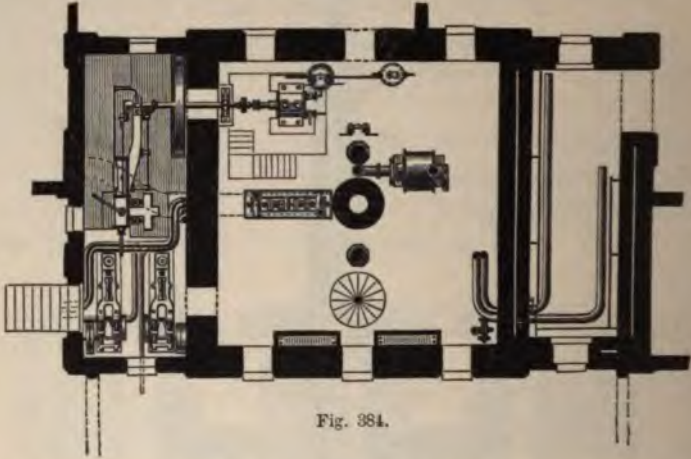


Fig. 384.

niedriger ist bekanntlich auch der für die Flüssigmachung des Ammoniaks erforderliche Druck. Er beträgt bei der vorliegenden Anlage in der Regel,

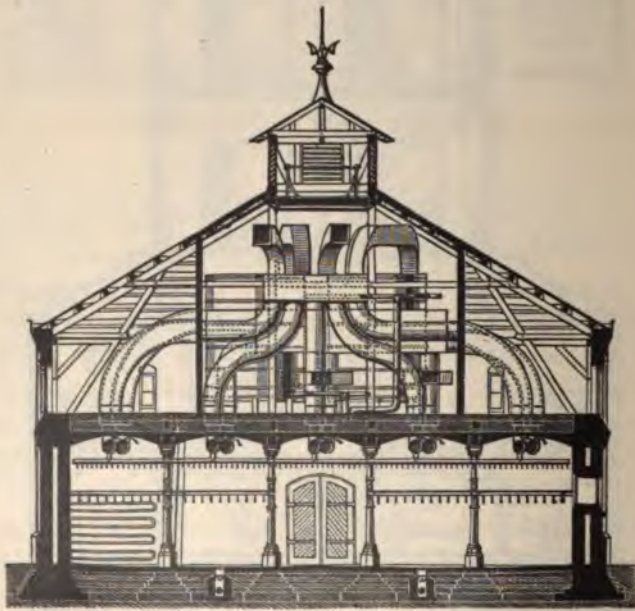


Fig. 385.

wo das Wasser eine Temperatur von nur $+6\frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$. besitzt, $5\frac{3}{4}$ bis 6 Atmosphären. Das flüssige Ammoniak sammelt sich in einem unterhalb der Kondensatoren befindlichen cylindrischen Gefässe, welches durch einen

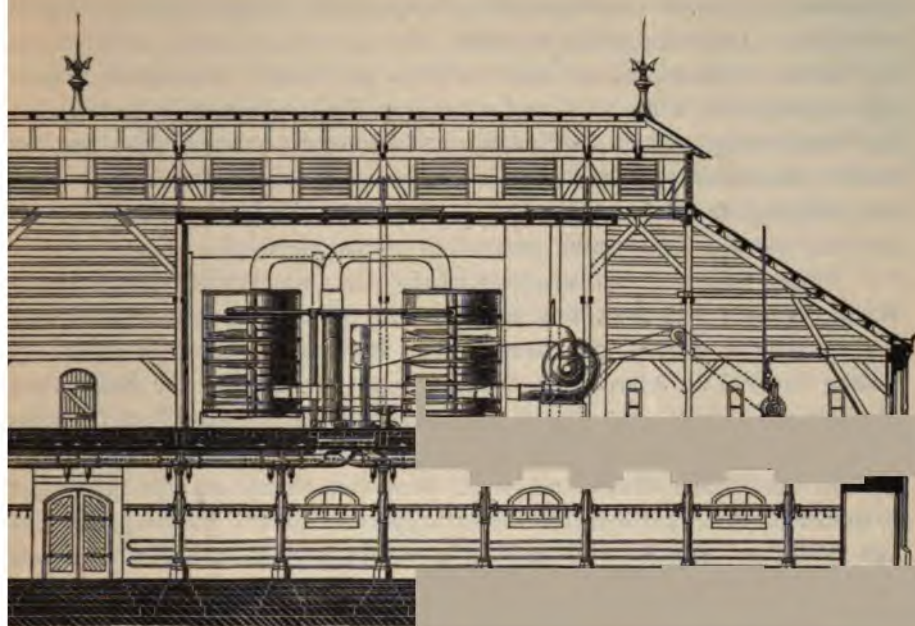


Fig. 386.

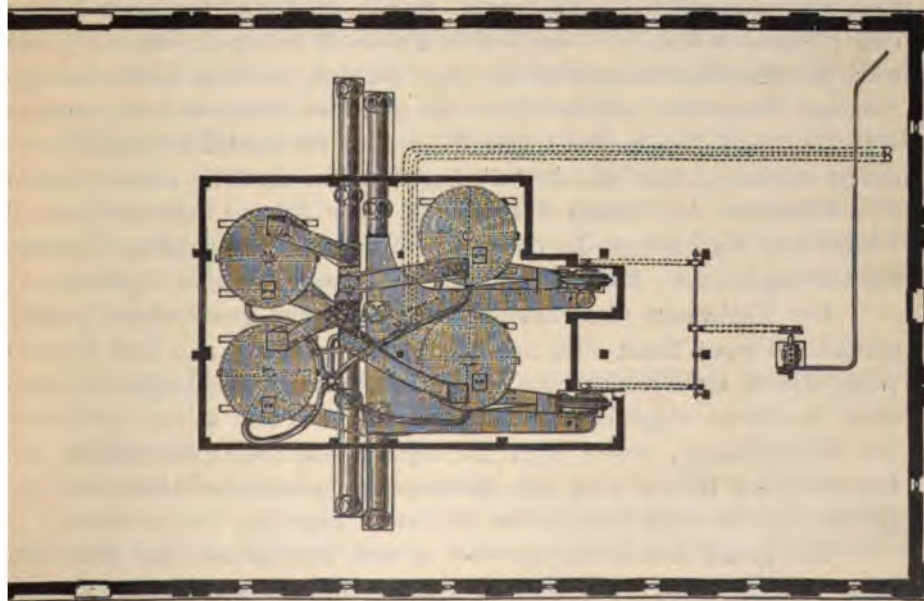


Fig. 387.

Wasserstandsapparat das angesammelte Quantum erkennen lässt. Unten von diesem Ammoniakgefäss zweigen zwei Röhren, je eine nach einem der beiden Generatoren, ab, durch welche das flüssige Ammoniak mittels Injektionshähnen in die Verdampfungsröhren der Generatoren geleitet wird. Hier verflüchtigt es sich, wie wiederholt bemerkt, unter Entziehung der hierfür erforderlichen Verdampfungswärme aus der die Röhren umgebenden Gefrierflüssigkeit (Chlorkaliumlösung), welche hierdurch allmählich bis auf eine gewisse Temperatur unter Null abgekühlt wird.

Diese Chlorkaliumlösung wird in der wiederholt beschriebenen Weise in dem auf Seite 414 dargestellten Osenbrück'schen Apparat zur Erzeugung von Klareis zur Eisfabrikation benutzt. In Bremen sollen die Kosten für 800 kg Klareis pro Stunde, und zwar speciell zur Entfernung der Luft aus dem Wasser, in 18 kg Steinkohle zum Betriebe eines 7 Pferdekräfte erforderlichen Gebläses bestehen. Gegenüber den Klareisapparaten, die mit destillirtem Wasser arbeiten, wäre dies allerdings eine erhebliche Kohlenersparniss, insofern bei diesen Apparaten ja die Verdampfung von 800 kg Wasser etwa 500 000 Calorien erfordert, was einem Kohlenaufwande von etwa 100 kg entspricht. Dazu kommt alsdann noch die Beschaffung des erheblichen Quantums Kühlwasser, um das destillierte Wasser wieder auf die ursprüngliche Temperatur zurückzuführen.

Zur Luftkühlung wird die Chlorkaliumlösung in einem Herrn Aug. Osenbrück ebenfalls patentirten Luftkühlapparat in folgender Weise benutzt:

Ein cylindrisches Gefäss von Holz und Eisen, das Material ist je nach dem Aufstellungsort zu wählen, enthält im Innern um einen Mäkler eine gusseiserne Schnecke von fünf und sechs Windungen, deren jede aus sechs Theilen zusammengesetzt ist. Die radialen, vertikal nach oben gerichteten Flanschen, mittels deren die einzelnen Sektionen mit einander verbunden sind, haben eine solche Höhe, dass sie herabfliessendes Wasser soweit aufstauen, dass die oberhalb liegende Sektion völlig davon bedeckt ist. Unterhalb der oberen Staufflansche jeder Sektion ist eine Anzahl Löcher zum regenartigen Durchlass von Wasser auf die darunter liegende Sektion angebracht. Die Wirkung der Vorrichtung ist nun folgende:

Das Kühlwasser (Chlorkaliumlösung, eventuell gewöhnliches niedrig gekühltes Wasser) fliesst oben auf die gusseiserne Rampe, so dass dieselbe völlig davon bedeckt ist. Die Luft wird unten in den Apparat durch einen Ventilator eingeblasen und kühlt sich an den kalten Gusseisen- und Wasserflächen, sowie beim Durchgang durch die Wasserregen ab. Das erwärmte Wasser wird den Generatoren zu erneuter Abkühlung zugeführt und die kalte Luft in den Kühlraum getrieben und so fort.

Der grosse Kühlraum, um den es sich hier handelt, hat 2320 cbm Inhalt und soll bis circa 4000 kg frisches Fleisch aufnehmen, welches innerhalb 24 Stunden auf $+5^{\circ}\text{C}$. resp. $+2^{\circ}\text{C}$. abzukühlen ist. Es sind

für diesen Zweck vier Luftkühlapparate, Patent Osenbrück, mit dem Boden oberhalb des Kühlraumes aufgestellt, deren jeder 3 m lichten Durchmesser und 4 m Höhe hat. Dieselben sind aus 10 cm dickem Holz angefertigt. In jedem Bottich sind gusseiserne Schnecken von sechs Windungen und 480 mm Steigung um einen Mäkler von 300 mm Durchmesser aufgeführt. Zwei Ventilatoren, deren jeder pro Minute 280 cbm Luft fördert, werden durch die oben erwähnte 10pferdige dreicylindrige Dampfmaschine betrieben. Die Druckröhren beider Ventilatoren verzweigen sich zur Speisung je zweier Luftkühlapparate. Die abgekühlte Luft wird oben von den vier Luftkühlapparaten in ein zwischen denselben liegendes horizontales Querrohr abgeführt, von dem fünf theils gerade, theils geschweifte Röhren nach unten abzweigen. Diese münden auf etwa halbe Länge des Kühlraumes in denselben ein und verzweigen sich nach beiden Seiten dicht unterhalb der fünf flachen Gewölbe der Länge nach.

Jede dieser Längsröhren enthält 22 nach unten gerichtete Röhren, von denen immer fünf Stück mit 22 Querröhren verbunden sind, welche insgesamt etwa 2200 Ausströmungsöffnungen enthalten. Diese Ausströmungsöffnungen befinden sich über den Aufhängegerüsten des frischen Fleisches, so dass die kalten Luftströme dasselbe energisch bestreichen. Die Luft erwärmt sich hierbei und steigt in Folge dessen seitlich der kalten, abwärts gerichteten Luftströme in die Höhe unter das Gewölbe, wo sie von fünf Einsaugungsröhren, welche parallel den Hauptzuführungsröhren der kalten Luft unter den Gewölben angebracht sind, abgesaugt und durch die Ventilatoren wieder den Luftkühlapparaten zugeführt wird. Die Absaugungsröhren haben gleichen Querschnitt wie die Zuführungsröhren und oben an der dem Gewölbe zugekehrten Seite längliche Schlitzlöcher, so dass die Luft möglichst hoch abgesaugt werden muss.

Die Geschwindigkeit der Luft beträgt überall in den Leitungen nicht über 3 m pro Sekunde.

Es werden stündlich 400 cbm frische, abgekühlte Luft dem Kühlraume zugeführt, so dass er, vorausgesetzt, dass die Luft in derselben Reihenfolge abgesaugt wird, wie sie erneuert wird, in 24 Stunden angefähert viermal durch neue Luft erfüllt wird.

22. Die Kühlanlage in der städtischen Grossmarkthalle in Wien.

Von L. A. Riedinger in Augsburg.

Die Anlage besteht aus:

1. Einer Kohlensäure-Kühlmaschine für eine stündliche Leistung von 115000 Cal. im Verdampfer bei 5° C. Ablauftemperatur des Salzwassers gemessen, welche Leistung jedoch auch ohne Anstrengung der Maschine auf 135000 Cal. gesteigert werden kann. Die Maschine besteht aus einem Kompressor mit kompletter Ventilgarnitur, einem Kondensator, in welchem

die komprimierte Kohlensäure durch das zufließende Brunnenkühlwasser derart abgekühlt wird, dass sie aus dem dampfförmigen in den flüssigen Zustand übergeht; ferner aus einem Kohlensäurevorkühler (auch Flüssigkeitskühler), in welchen das Kühlwasser zuerst eintritt und welchen die verflüssigte Kohlensäure mit einer Temperatur verlässt, welche der Kühlwassertemperatur nahezu gleichkommt; ferner dem Regulirventil, durch welches die Kohlensäure in den Refrigerator eintritt, um hier beim Verdampfen die Kälte an die konzentrierte Salzwasserlösung abzugeben, bezw. letzterer Wärme zu entziehen. Schliesslich gehört zur Maschine noch eine Kohlensäure-Einziehvorrichtung zum Nachfüllen flüssiger Kohlensäure. Sämmtliche Apparate sind mit der nöthigen Armatur, Thermometern, Manometern und Isolirungen ausgestattet.

Als Reserve ist eine Kühlmaschine für eine stündliche Normalleistung von 58000 Cal. beigegeben, und kann diese Leistung bequem auf 68000 Cal. gesteigert werden. Zum Antrieb der Kompressoren dienen Dampfmaschinen, welche von der Prager Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. Ruston & Cie. in Prag als Subunternehmer ausgeführt wurden. Es sind dies für den grossen Kompressor eine liegende Tandem-Compounddampfmaschine mit Ventilsteuerung und Kondensation für 8 Atmosphären Betriebsdruck, gebaut mit 320, bezw. 520 mm Cylinderdurchmesser und 700 mm Hub, einem Riemenschwungrad von 4 m Durchmesser und direktem Kurbelantrieb des Kompressors nebst einem empfindlichen Regulator und einem Excelsiorschmierapparat.

Zum Antrieb des kleinen Kompressors, bei dessen Grundplatte auf den späteren Ausbau auf einen Zwillingskompressor von der Leistung des grossen Kompressors Rücksicht genommen ist, dient eine Reservemaschine ohne Kondensation, welche jedoch zur Tandem-Compounddampfmaschine genau so wie die zuerst beschriebene ausgebaut werden kann.

Die Kesselanlage besteht aus zwei Cornwallkesseln, von denen jedoch einer immer als Reserve dient. Die Kessel waren ursprünglich mit einer Heizfläche von 40 qm auf 8 Atmosphären Betriebsdruck projektirt, jedoch mit Rücksicht auf die beabsichtigte Aufstellung einer Lichtmaschine zum Zweck der Versorgung der Kühlanlage und der ganzen Grossmarkthalle mit elektrischem Licht mit 70 qm Heizfläche ausgeführt. Die Kessel wurden mit Rauchverzehrungsapparaten Patent Langer ausgerüstet. Zum Weichmachen des Kesselspeisewassers wurde ein Wasserreinigungsapparat aufgestellt, nachdem das zur Verfügung stehende Brunnenwasser bei 19 deutschen Härtegraden zur direkten Kesselspeisung zu hart gewesen wäre.

Die Nutzbarmachung der im Refrigerator erzeugten Kälte erfolgt je nach dem Zwecke in verschiedener Weise: Entweder wird diese Lösung mittels Rotationspumpen in eiserne Rohrleitungen an der Decke der zu kühlenden Räume durchgeführt, aus welchen sie erwärmt wieder zum

Refrigerator zurückkehrt, um hier von Neuem gekühlt den Kreislauf wieder zu beginnen, oder sie wird über einen eigenen Apparat mit Entwicklung möglichst grosser, freier Oberfläche geleitet, wo sie mit der zu kühlenden Luft in direkte Berührung kommt. Das erstere System wurde gewählt für die Nebenräume, und zwar für Geflügel, dann für Wildpret und für diverse Waaren, wo es speciell auf tiefere Temperaturgrade ankommt. Das Berieselungssystem wurde angewendet für die grosse Fleischkühlhalle, und zwar derart, dass die Salzwasserlösung in einem Berieselungsapparat über einer grossen Zahl von verzinkten Blechtafeln rieselt, während in entgegengesetzter Richtung mittels eines Ventilators über diesen Apparat die erwärmte Luft zwischen den einzelnen Blechtafeln, auf welchen das Wasser rieselt, abgesaugt, dabei gekühlt, getrocknet und gereinigt und sodann von diesem Ventilator in die Kaltluftleitung getrieben wird, welche in Holz hergestellt aus dem Hauptschlauch und entsprechenden Seitenschläuchen besteht. Von hier gelangt die Kaltluft in die Kühlhalle durch entsprechende in den Holzschläuchen angebrachte Oeffnungen, aus welchen sie vermöge ihres grösseren specifischen Gewichtes herausfällt, um durch ein zweites Schlauchsystem erwärmt in den Luftkühlapparat abgesaugt zu werden, wo sie nach Passirung der Tafeln und Abkühlung durch die Salzwasserlösung abermals im Kreislaufprozess in die Kühlhallen hineingetrieben wird.

Bei dieser Art der Luftkühlung tritt aber naturgemäss eine Verdünnung der Salzwasserlösung durch die Aufsaugung der Luftfeuchtigkeit ein und ist eine nothwendige Konsequenz davon der periodische Zusatz von Salz, um der Lösung die erforderliche Konzentration zu bewahren. Das über den Berieselungsapparat ablaufende Salzwasser wird in einer Cisterne gesammelt und mittels einer Pumpe in den Refrigerator geleitet, von wo es wieder nach entsprechender Abkühlung von einer zweiten Pumpe auf den Berieselungsapparat gebracht wird und denselben Prozess beginnt. Ausserdem ist für die Zufuhr von Aussenluft durch eine besondere Ventilationsanlage gesorgt, mittels deren Luft von Dachhöhe in alle Kühlräume geleitet werden kann.

Von Wesenheit für die Anlage und den maschinellen Betrieb sind folgende Daten: 1. Das zur Verfügung stehende Kühlwasser, welches aus einem Brunnen von 3 m Durchmesser geschöpft wird, hat eine Temperatur von max. + 12° C. und ist die stündlich erforderliche Menge 145 Hektoliter für 115 000 Cal. Die Salzwassertemperatur liegt im Mittel zwischen 5 und 7°; als Temperaturgrenzen waren in der grossen Fleischhalle in Aussicht genommen, bezw. von der Firma garantirt + 2 bis + 5° C., in den Räumen für Geflügel und Wildpret 1 bis 3° und in den Räumen für diverse Waaren 0°, in den Vorkühlräumen ca. 6°. Die Garantie bezüglich des Kraftverbrauches im Kompressor für eine Leistung von 115 000 Cal. bei — 5° Ablauftemperatur im Generator und Kühlwasser von + 12° C. war

auf 35 PS. eff. gestellt. Der Kraftverbrauch der drei Salzwasserpumpen auf $2\frac{1}{2}$ PS. Ausserdem garantierte die Firma die Leistung der Kühlmachine von 115000 Cal. bei einem Kraftaufwand von 35 PS. eff. auch noch am Ende des dritten Betriebsjahres, ohne dass vorher eine innere Reinigung der Kondensator- und Refrigeratorschlangen vorgenommen zu werden braucht.

Bei dem am 10. Juli 1897 vorgenommenen Garantieveruche, der noch später besprochen werden soll, hat sich gezeigt, dass die Garantie nicht nur in jeder Beziehung eingehalten, sondern dass die Leistung noch wesentlich überschritten wurde.

Die Kühlanlage wurde dem Wesen nach in fünf Gruppen getheilt und zwar:

1. Die grosse Fleischkühlhalle, in welcher hauptsächlich Rindfleisch zur Aufbewahrung gelangen sollte;
2. die Halle für Geflügel, Butter, Eier etc.;
3. die Wildprethalle;
4. die Räume für diverse Waaren und
5. die Vorkühlräume.

Die Fleischkühlhalle wurde ausgestattet mit 90 Zellen, welche mittels fünf Quergängen durch die Vorkühlräume zugänglich sind. Jede der Zellen hat eine mittlere Breite von 2 m, eine Tiefe von 2,5 m und eine Höhe von 2,3 m. Die Zellen sind nach allen Richtungen mittels Drahtgitter abgeschlossen, mit 80 cm breiten Schubthüren versehen und haben in einer Höhe von 1,9 m über dem Fussboden vier Träger, an welchen 18 cm lange, aufgebogene Hakennägel zur Aufhängung der Fleischstücke angebracht sind. In der Halle für Geflügel und Wildpret wurden zum Aufhängen und zum Auflegen der Waaren besondere Einrichtungen getroffen, die hier nicht näher besprochen werden sollen. Desgleichen wurden späterhin in den Räumen für diverse Waaren Vorrichtungen für Fleischkühlzwecke angebracht. Sämmtliche Konstruktionen wurden aus verzinktem Eisen ausgeführt.

Die Flächenausmaasse sind aus der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

Bezeichnung der Halle	Bruttofläche	Kommunikationsraum	Nettofläche
Grosse Fleischkühlhalle	676,0	162,6	513,4
Halle für Geflügel etc.	60,19	20,67	39,52
Wildprethalle	83,78	20,67	63,11
Halle für diverse Waaren	54,90	11,15	43,75
Vorkühlraum	244,58	81,43	163,15

Die Gesamtanordnung ist aus den folgenden Abbildungen zu entnehmen. Aus denselben ist ersichtlich die Situirung der maschinellen

Anlage und der Kühlräume mit Darstellung ihrer Bestimmung (Fig. 388), die Anordnung der Luftkühlung, sowie der maschinellen Anlage (Fig. 389 bis 393).

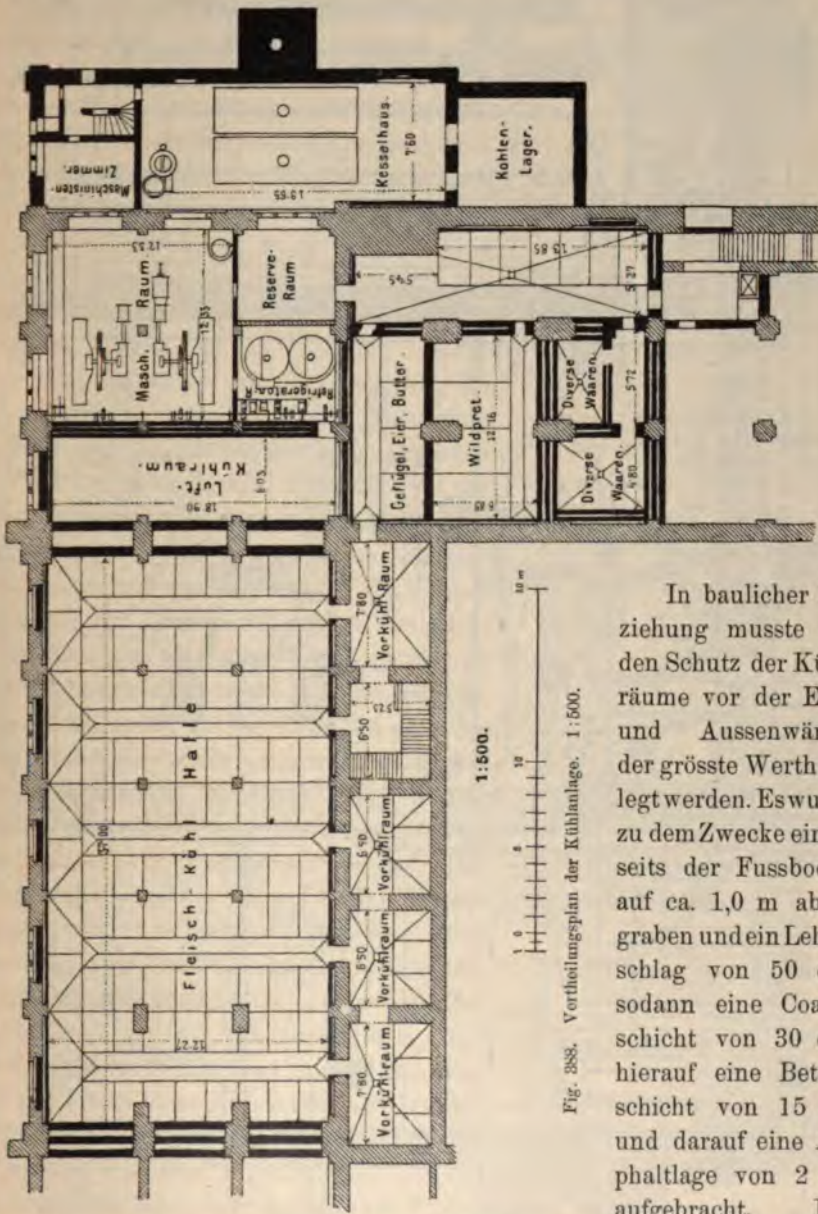


Fig. 388. Vortheilungsplan der Kühlanlage. 1:500.

In baulicher Beziehung musste auf den Schutz der Kühlräume vor der Erd- und Aussenwärme der grösste Werth gelegt werden. Es wurde zu dem Zwecke einerseits der Fussboden auf ca. 1,0 m abgegraben und ein Lehm-schlag von 50 cm, sodann eine Coaks-schicht von 30 cm, hierauf eine Beton-schicht von 15 cm und darauf eine As-phaltlage von 2 cm aufgebracht. Die

Vände wurden mittels vorgesetzter Isolirungsmauern, welche zwischen den Hauptmauern eine mindestens 10 cm starke Luftschicht belassen, isolirt; die Decken wurden nach vollständiger Abschlagung des alten Putzes mit

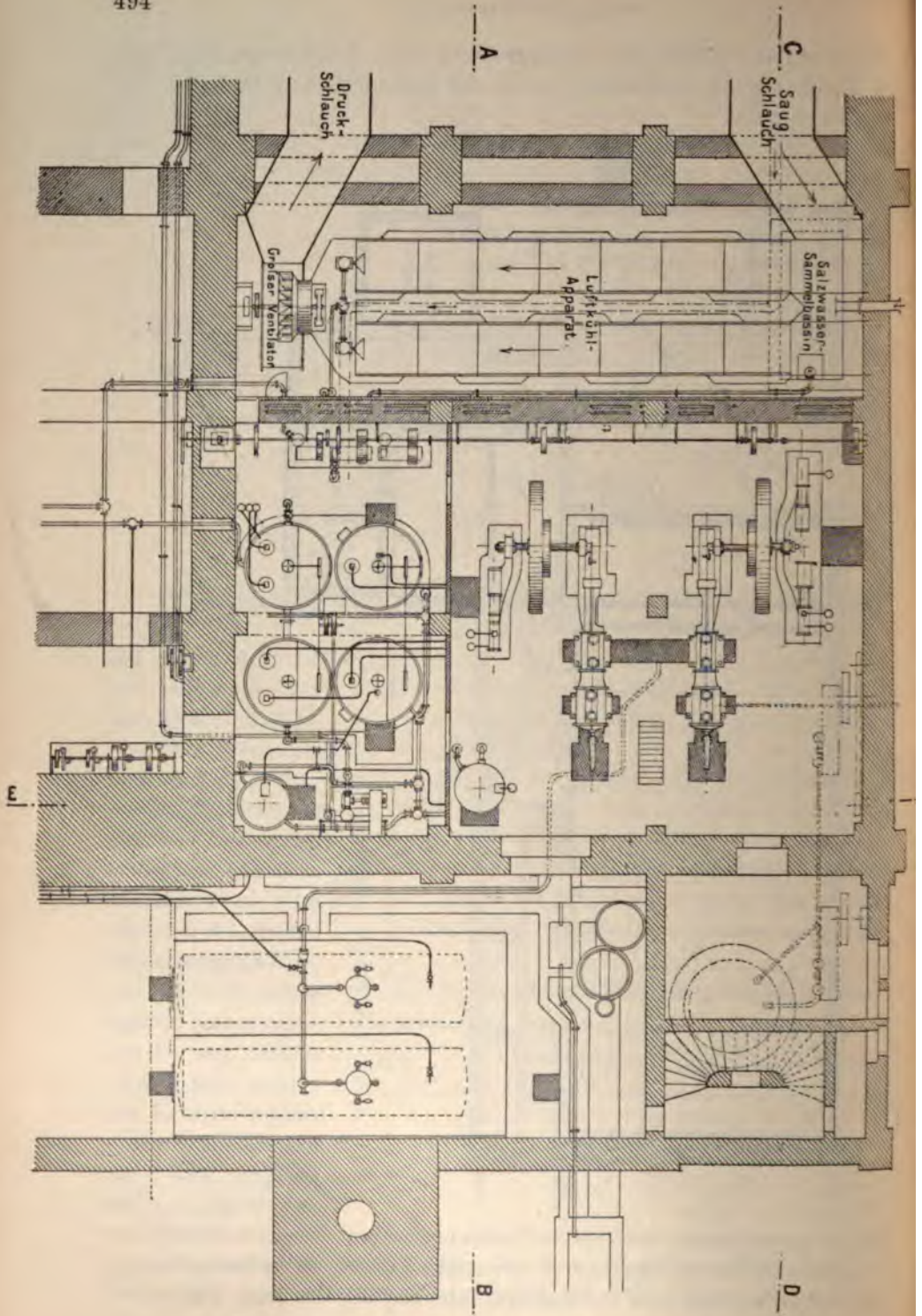


Fig. 889. Grundriss der Maschinen- und Kühlanlagen. 1:200.

6 cm starken, imprägnirten Korkplatten versehen, auf welche ein entsprechender Verputz angebracht wurde.

Besondere Sorgfalt musste auf die Isolirung in den kleineren Kühlräumen, wo tiefere Temperaturen erwünscht waren, gelegt werden. Die sonstige bauliche Durchführung war insofern wesentlich erschwert, als man es besonders im Maschinenhaus mit Abgrabungen von 4 m innerhalb des Gebäudes zu thun hatte, wo es galt, auf die die Kreuzgewölbe von circa 50 qm Grundfläche stützenden gusseisernen Säulen entsprechend Rücksicht zu nehmen. Nachdem diese letzteren, wie die Rechnung ergab, ohnedies ziemlich stark beansprucht waren, so wurde eine bleibende Versicherung in der Art bewirkt, dass diese Säulen von 22 cm äusserem Durchmesser mit einem Pfeilerkörper von 63 cm im Quadrat aus Stampfbeton umgeben wurden, welcher als solcher genügend im Stande wäre, den statischen Anforderungen zu entsprechen. In Betreff des Brunnens mag noch erwähnt werden, dass derselbe auf die Tiefe von 7,4 m unter dem Maschinenhausfussboden gesenkt und der Wasserspiegel in einer Tiefe von 6 m unter dem Maschinenhausfussboden als ziemlich konstant vorgefunden worden war. Der Schornstein, welcher einen inneren Durchmesser von 1 m besitzt, erhielt eine Höhe von 40 m über dem Maschinenhausfussboden.

Das Kohlendepôt liegt unter der Zufahrtsrampe in die Grossmarkthalle, hat eine Länge von 8 m und eine Breite von 7 m mit einem Einwurfschachte in der Decke.

Schliesslich wäre noch zu erwähnen, dass nebst den zwei abgesonderten Stiegenabgängen ein besonderer elektrischer Waarenaufzug angelegt wurde, welcher jedoch relativ wenig in Benutzung kommt.

In Bezug auf die Disposition der gesammten Anlage im Souterrain der Grossmarkthalle mag noch erwähnt werden, dass auf eine spätere Er-

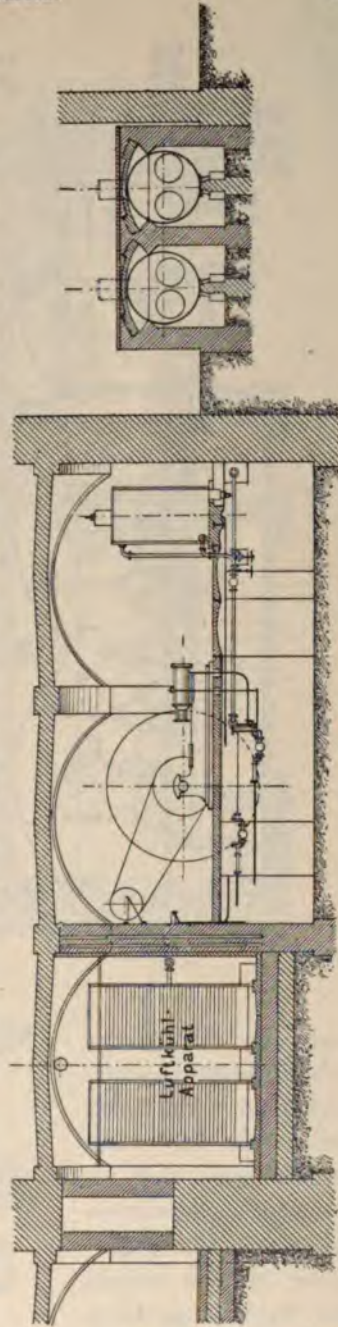


Fig. 390. Schnitt A - B.

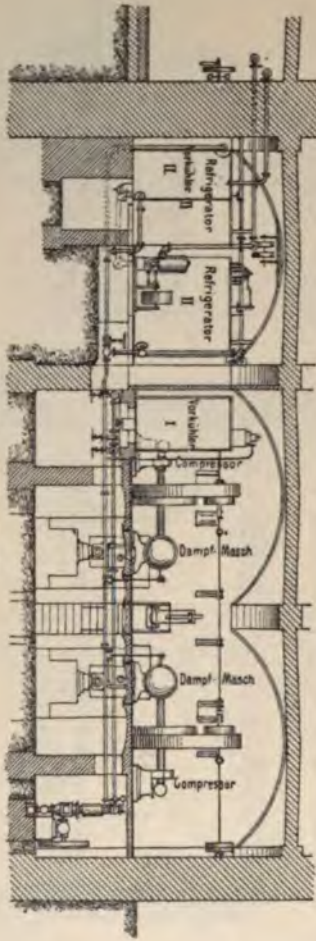


Fig. 392. Schnitt E-F.

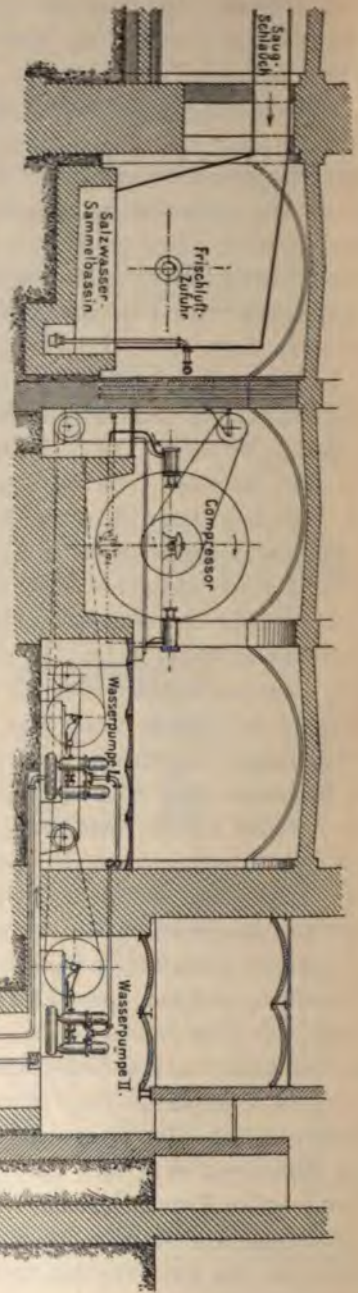


Fig. 391. Schnitt C-D.

weiterung der Anlage auf die doppelte Leistung gebührend Rücksicht genommen ist. Der Ausbau wird sich als notwendig herausstellen, sobald die gegenwärtig im Bau stehenden Ergänzungsbauten der Grossmarkthalle in der Invalidenstrasse dem Marktverkehre übergeben sein werden.

Die Beleuchtung der gesammten Anlage erfolgt mit elektrischen Glühlampen und war Gasbeleuchtung wegen der Wärmeentwicklung und

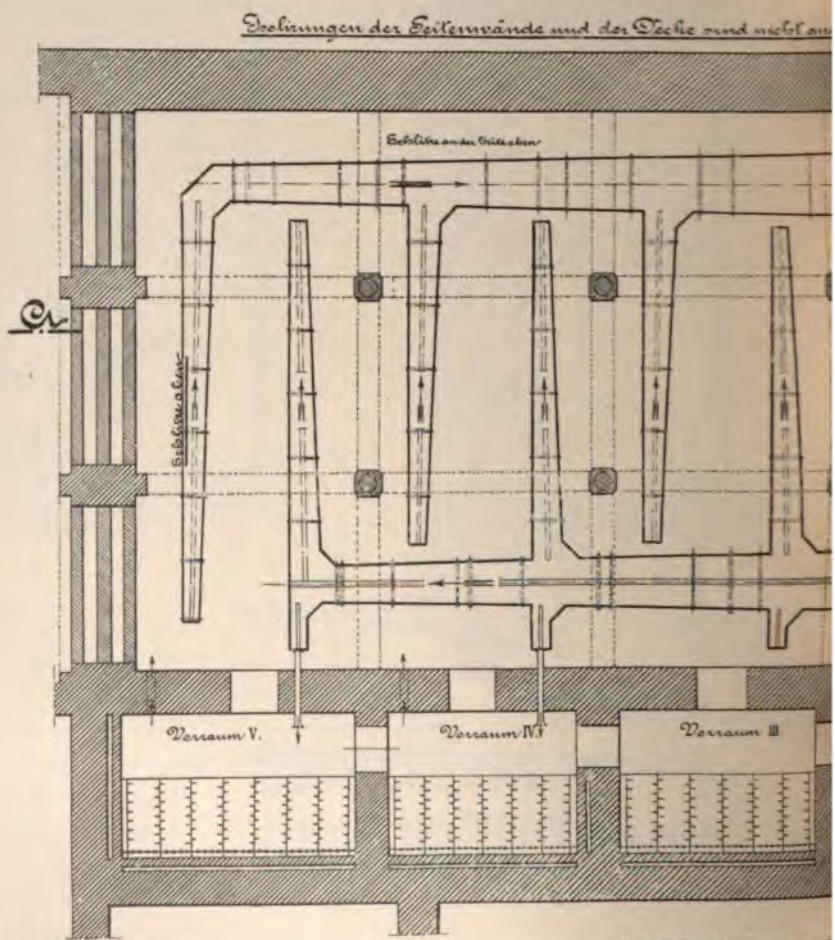
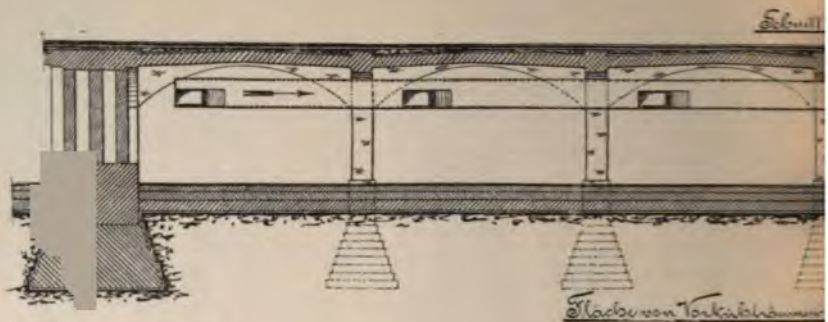
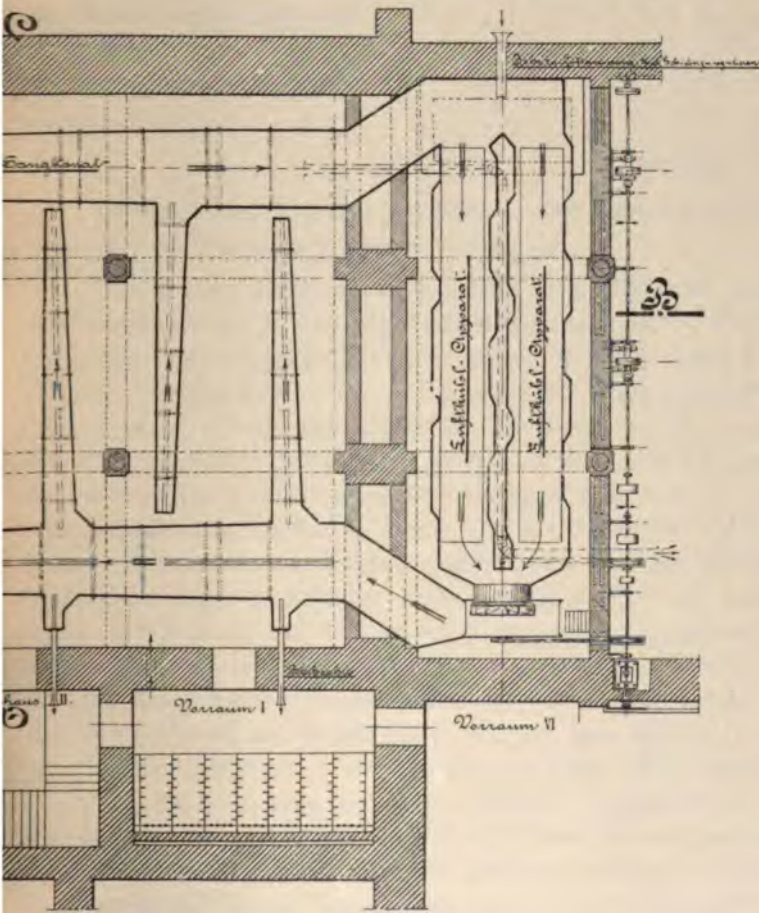
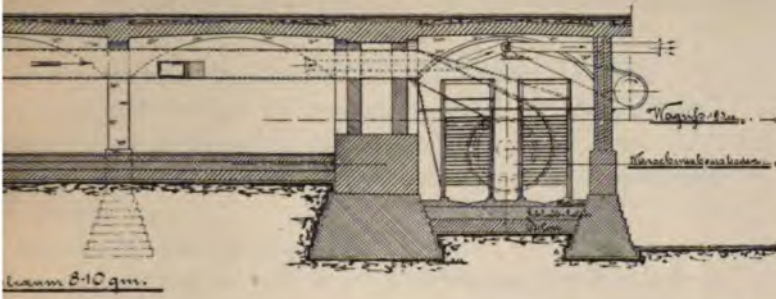


Fig. 395. Grundriss und S



Kesselschiffel-Ölwanne. 1:200.

wegen der sonstigen Unannehmlichkeiten im Betrieb ausgeschlossen. Vorläufig wurde der Strom von der Allgemeinen Oesterr. Elektrizitäts-Gesellschaft bezogen.

Die gesammten Kosten der Anlage beliefen sich auf . . .	fl. 176801,51
davon entfielen auf die gesammte Maschineneinrichtung . . .	„ 76550,—
die innere Einrichtung der Kühlräume	„ 18227,90
Erd- und Baumeister-, Steinmetz- und Professionisten-	
arbeiten	„ 72244,41
elektrische Beleuchtungsanlage	„ 1312,57
sonstige Auslagen, und zwar: Einrichtung der Fernthermo-	
meteranlage, Aufstellung einer Waage im Kesselhaus zum	
Abwägen der Kohlenwagen, Werkzeuge etc.	„ 828,78
ein Wasserreinigungsapparat	„ 2625,—
„ Aufzug	„ 1440,—
die Rauchverzehraparate	„ 2100,—
diverse Arbeiten	„ 1472,85
	<hr/>
	zusammen fl. 176801,51

Bezüglich des Betriebes hinsichtlich der Kontrolle der Temperaturen ist noch von Interesse Folgendes anzuführen:

Um es dem Maschinisten jederzeit zu ermöglichen, sich sofort über die Temperaturlage in den einzelnen Kühlräumen zu unterrichten, wurden sogenannte elektrische Kontaktthermometer in jedem dieser Kühlräume angebracht, welche jeweils für die untere und obere zulässige Temperaturlage in dem betreffenden Kühlraum an einem im Maschinenhaus angebrachten Schaltbrett den Kontakt liefern, so dass sich der Maschinist durch Herstellung des Kontaktes sofort überzeugen kann, ob die Temperatur in dem betreffenden Kühlräume unter der untersten, in welchem Falle das Läutewerk beim unteren Kontakt alarmirt, oder über der höchsten zulässigen Temperatur liegt, in welchem Falle das Läutewerk auch dann funktionirt, wenn der Kontakt an der oberen Temperaturlage hergestellt wird. Als Temperaturlagen wurden für die Fleischkühlhalle +2 und +4°, für die übrigen Räume 0 und 3° angenommen, ausserdem aber wurden zur Kontrolle des betriebsführenden Maschinisten und um den Marktparteien gegenüber untrügliche Belege über den jeweiligen Stand der Temperatur in der Fleischkühlhalle unabhängig von zufälligen Beobachtungen zu besitzen, ein vom Heizinspektor der Stadt Wien, Herrn Ober-Ingenieur Beraneck, konstruirter Schreibthermometer aufgestellt, welcher in Verbindung mit dem vorbeschriebenen Kontaktthermometer mit zwei Stiften, welche der Temperatur von +2° und +4° C. entsprechen, jeweils dann schreibt, wenn die Temperatur über der dem Stift zugehörigen Temperatur liegt. Auf diese Weise ist es ohne weiteres möglich zu konstatiren, binnen welchen

Zeitraumes die Temperatur in der Fleischkühlhalle unter 2° oder zwischen 2 und 4° und über 4° gelegen ist. Normal soll dieselbe über 4° nicht hinausgehen, so dass der obere Stift eigentlich nie zu schreiben hätte; ausgenommen davon sind die Zeitpunkte nach der Füllung der Kühlanlage mit frischem oder erwärmtem Fleische.

Bei der am 3. April 1897 stattgefundenen kommissionellen Uebernahme der Anlage wurde dieselbe in einem vollständig korrekten Zustande vorgefunden und ergaben sich keinerlei Anstände. Besonders verdient hervorgehoben zu werden, dass sowohl die Dampfmaschine wie auch die Kompressoren mit ausserordentlicher Präcision gearbeitet wurden.

Am 10. Juli 1897 wurde zur Ermittlung der garantirten Leistung der Kühl- und Dampfmaschinenanlage der Konsumversuch vorgenommen unter Intervention von Vertretern des Stadtbauamtes, und zwar des Bauleiters, Herrn Bauinspektor Reko, des Herrn Heizinspektors, Ober-Ingenieur Beraneck, des Ing. Hermanek und der Vertreter der Lieferanten, der Herren Ober-Ingenieure Witz und Rohrer. Nachdem der Beweis für die richtige Ventilation der einzelnen Hallen in der darin zu erreichenden Temperatur durch die tadellose Beschaffenheit der Kühllhallen Luft und die sonstigen Beobachtungen beim Betrieb in ausgiebigstem Maasse erbracht worden war, so konnten sich die vorzunehmenden Messungen beschränken auf 1. die Bestimmung der Kälteleistung, 2. die Bestimmung des Kraftverbrauches, 3. die Bestimmung des Speisewasser-, bezw. Dampfverbrauches, 4. die Bestimmung des Kohlenverbrauches und 5. die Bestimmung der Kühlwassermengen und Temperaturen.

Die an das Salzwasser pro Stunde abgegebene Kältemenge wurde in der Weise bestimmt, dass von der an das Kühlwasser abgegebenen durch direkte Messung bestimmten Wärmemenge das Wärmeäquivalent der Kompressorarbeit in Abzug gebracht wurde, unter gleichzeitiger Beobachtung der Temperatur des Salzwasserablaufes.

Während des Hauptversuches, der in der Zeit von 8 Uhr Früh bis 1 Uhr Mittags, also durch fünf Stunden, erfolgte, war es nicht möglich, die erzeugte Kälte an die Kühlräume in genügendem Maasse abzuführen, und war ein Beharrungszustand nur bei weit niedrigeren Salzwassertemperaturen gegenüber den der Garantie zu Grunde gelegten zu erreichen. Es musste deshalb die Vergleichung der ermittelten Resultate mit den Garantiezahlen auf rechnerischem Wege erfolgen.

Es wurde somit gemessen: 1. Die Temperatur des eintretenden, 2. die Temperatur des austretenden Kühlwassers; 3. die Temperatur des Salzwasserablaufes aus dem Refrigerator; 4. die stündliche Kühlwassermenge und 5. die indicirte Kompressorarbeit. Die Temperaturablesungen an entsprechend empfindlichen Thermometern wurden alle 15 Minuten vorgenommen, die indicirte Kompressorarbeit aus den alle 30 Minuten am

Temperatur im
und tägl. Be
Stunden

Beginn u. tägl
denzahl d. Be

Temper. im Fr

Maximal-Temp
der Fleischku
vor dem Bet

Minimal-Temp
der Fleischku
während des B

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY.

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.

Kompressor abgenommenen Indikatorgrammen berechnet. Die stündlich zurückfliessende Kühlwassermenge wurde durch Feststellung der gesammten Hubzahl der Kühlwasserpumpe und der Fördermenge der Pumpen pro Umdrehung festgestellt. Die Fördermenge pro Umdrehung ergab sich am genauesten aus jener Zahl von Umdrehungen, welche nothwendig waren, um den Kondensator zu füllen, dessen Inhalt durch Messung und Rechnung genau ermittelt wurde.

Zur Bestimmung des gesammten Kraftverbrauches der Kühlanlage wurden während der ganzen Versuchsdauer an der Dampfmaschine alle 15 Minuten Indikatorgramme abgenommen. Der Kraftverbrauch der einzelnen Theile der Anlage wurde nach Abschluss des Hauptversuches bestimmt, indem die betreffenden Theile nacheinander ausgerückt und gleichzeitig jeweils fünf Diagramme an der Dampfmaschine abgenommen wurden. Die Bestimmung des Speisewasser- und Kühlwasserverbrauches bot nichts sonst Bemerkenswerthes und ging in der üblichen Weise vor sich.

Die aus dem Versuch durch entsprechende Rechnung abgeleiteten Hauptresultate, verglichen mit den Garantien, sind in der nachstehenden Tabelle angeführt:

B e n e n n u n g	Vertragmässig	Thatsächlich
Kälteleistung pro Stunde in Calorien	135 000	146 100
Kraftverbrauch des Kompressors bei 115 000 und 5°		
Ablauftemperatur in PS. eff.	35	32
Dampfverbrauch der Dampfmaschine in kg	7,5	7,28
Nutzeffekt der Dampfmaschine Proc.	83—85	87
Nutzeffekt des Kessels Proc.	70	73,1

Die mit der Maschine erreichbare maximale Leistung weist somit ein Plus von 11 100 Calorien auf, wogegen der Kraftverbrauch bei der Kälteleistung von 115 000 Calorien um 3 PS. geringer ist, als garantirt. Auf Grund dieses befriedigenden Ergebnisses des Konsumversuches und auf Grund des vollständig anstandslosen Betriebes während des ersten Jahres erfolgte nun am 16. April 1898 die definitive Uebernahme der Anlage.

Die Betriebsverhältnisse gestalteten sich von Anbeginn derart, dass ein regelmässiger Tag- und Nachtdienst eingeführt werden musste; besonders ist dies in den wärmeren Monaten schon aus dem Grunde nothwendig, weil bei den hiesigen Marktverhältnissen der Marktschluss oft erst in den späten Nachmittagsstunden erfolgt und dann das den ganzen Tag über der warmen Luft ausgesetzte Fleisch erst in die Kühlanlage gelangt. Dieses Fleisch erwärmt nun die Luft beträchtlich und muss in Folge dessen nach Marktschluss ein intensiverer Maschinenbetrieb beginnen, der sich bis in die späte Nachtzeit fortentwickelt.

Tabellarische Zusammenstellung der Betriebsresultate in der Kühlanlage der Grossmarkthalle im III. Bezirke, welche sich im ersten Betriebsjahre (1. April 1897 bis 1. April 1898) ergeben haben.

Monate	Betriebsdauer pro Monat in Stunden	Mittlere Betriebsdauer in Stunden		in 24 Stunden	Mittlere Temperaturen in Celsius-Graden												Feuchtigkeitsgrade		Tägliche Frischluftzufuhr in Stunden, Mittel		Verbrauch in Kilogramm		Salz
		Tag	Nacht		in den Kühlräumen						Vorraum	Fleischkühlraum	Maximum			Minimum			pro Monat	pro Stunde			
					Fleischkühlhalle		Vorkühlräume		Vorkühlräume				VI	VII	VIII	IX							
April	262,2	4,9	3,8	8,74	10,68	5	2	1	2,5	4	8	2	2	1	0	1	2,5	7,5	85	5,9	25 798	98,39	—
Mai	362,5	6,08	5,6	11,69	15,1	4,5	2	0,5	2	4	9	2	2	0,5	0	1	2	6,5	78	2,09	27 636	76,78	7 600
Juni	390	3,39	6,17	13	22,9	4,3	2	0,5	2	3,8	10	2	2	0	-0,5	1	2	6,5	79	1,5	32 674	83,7	3 450
Juli	401,75	6,43	6,43	12,96	22,2	4	1,5	-0,5	2	3,5	9	1,5	2	0	-1	1	2	6,3	75	0,45	33 756	84	8 830
August	403,5	6,53	6,53	13	23,7	3,8	1,3	-0,5	2	3,2	8	1,5	2	0	-1	1	2	6,2	74	1,3	33 789	83,73	4 200
September	352	6,21	6,15	11,73	16,1	3,5	1	-0,8	2	3	8	1,5	2	0	-1,3	1	2	6	75	1,5	32 612	92,6	1 600
October	275	4,85	4,77	9,1	7,9	3,5	1	-0,8	2	3	7	1,5	2	0	-1,5	1	2	6	72	1,75	25 097	91	2 650
November	182,25	2,91	3,05	6,07	4,4	3	0,5	-1	2	2,5	6,5	1,5	2	-0,5	-2	0,5	1,5	5,6	70	3,59	17 023	98,23	4 200
December	188	3,41	2,64	6,06	2,5	3	0,5	-1	2,5	2,5	5,5	1,4	2	-2,5	0	1	4,5	68	4,29	17 904	95,2	450	
Januar	157,75	2,2	2,89	5,07	2,2	3	-0,5	-1,5	1,5	1,8	4	1	1	-2,5	-0,5	0,5	3,5	67	3,6	13 269	84,24	—	
Februar	195,5	4,34	2,64	6,98	4,8	3	-0,5	-1,5	1,3	1,6	4,8	1	1	-2	-0,5	0,5	3,8	70	5,25	16 943	86,96	4 800	
März	195,5	3,69	2,62	6,31	8,67	2,8	-0,5	-1,8	1	1,8	5	1	1	-2	-0,5	0,5	4	69	4,46	16 391	83,89	400	
Summa	3366	durchschnittl. pr Monat 280,5 St.		Mittlere Betriebsdauer pro Tag im Jahre = 9,03 Stunden.												—	—	293 902	—	38 200			

Es wurden demgemäss für den Sommerbetrieb zwei vollkommen getrennt arbeitende Schichten eingeführt, bestehend aus einem Maschinisten, einem Heizer und einem Hilfsarbeiter. Die Schicht dauert von 7 Uhr Morgens bis 6 Uhr Abends, bezw. von 6 Uhr Abends bis 5 Uhr Früh. In der Zeit von 5 Uhr bis 7 Uhr Früh wurde ein alternirender Inspektionsdienst gehalten. Diese Einrichtung erwies sich auch selbst in den Wintermonaten bei den zeitweilig abnorm hohen Temperaturlagen des verfloßenen Winters als nothwendig und konnte durchaus nicht auf den Nachtbetrieb verzichtet werden.

Von Interesse dürften die nachstehenden auf Grund des einjährigen Betriebes in der beigeschlossenen Tabelle zusammengestellten Daten sein. Aus denselben ist zu entnehmen: Die durchschnittliche tägliche Betriebsdauer bei Tag, Nacht und zusammen in den einzelnen Monaten, sowie die erforderlichen Mengen an Salzzusätzen und der Kohlenverbrauch. Bezüglich des Kohlenverbrauches ist zu bemerken, dass derselbe berechnet ist pro Stunde reiner Betriebsdauer, somit, nachdem der Betrieb fast durchaus intermittierend ist, in der Ziffer für den stündlichen Kohlenverbrauch inbegriffen ist das Dampfhalten, bezw. Anheizen. Wie sehr diese Umstände die Höhe des stündlichen Kohlenverbrauches beeinflussen, ist wohl am deutlichsten daraus zu ersehen, dass bei wiederholten Beobachtungen während des vollen Betriebes sich ein Verbrauch an Kohle von rund 67 kg ergab, während er nach der vorstehenden Tabelle zwischen 76,78 bis 98,39 kg liegt.

23. Die Kühlanlage im Schlachthof zu Wiesbaden,

welche mit Linde'scher Maschine versehen ist. In den Abbildungen Fig. 397 bis 402 ist *A* der Kompressor, *B* die Dampfmaschine, *C* der Kondensator, *D* der Generator oder Refrigerator, der hier auch zur Eis-erzeugung dient, *E* das Abthaugefäss für die erzeugten Eisblöcke, *F* der Destillator, *G* Laufkrahnen für das erzeugte Eis, *H* Circulationspumpe für das Salzwasser, *J* der Ventilator für die in die Kühlräume einzublasende Luft, *K* die Dampfkessel.

Der Eisgenerator zur Erzeugung von täglich 120 bis 180 Centner Eis ist im Erdgeschoss eines dreistöckigen Gebäudes *L* aufgestellt und ist mit Laufkrahnen und mechanischen Vorrichtungen zum reihenweisen Füllen und Entleeren der Gefrierzellen versehen. Von hier aus führen auch die Kühlröhren nach dem Kühlhause behufs Abkühlen desselben. Das Kühlhaus liegt, wie aus dem Situationsplan hervorgeht, in einiger Entfernung von der Kältemaschine, hat eine Grundfläche von 224 qm, welche in einzelne durch massive eiserne Stäbe getrennte Abtheilungen von je 4, 6, 8, 10 und 12 qm eingetheilt sind. Die einzelnen Räume sind mit Hängevorrichtungen für das Fleisch versehen und durch Thüren

zu begehren. Der Luftwechsel kann durch Luftkanäle in der Wand und zwei grosse regulirbare Dunstschlote leicht geregelt werden.

Das Kühlverfahren hat den grossen Vortheil gegenüber der Aufbewahrung des Fleisches in Eiskellern, dass dasselbe trocken hängt und sich daher lange Zeit unversehrt und von gutem Aussehen erhält.

Die Fleischkammern sind in den Abbildungen leicht zu erkennen, ebenso ist der Zuführungskanal für frische Luft bezeichnet, sowie die Kanäle für dieselbe, welche mit dem Buchstaben *a* markirt sind. Der Luftkühlapparat ist durch *b* bezeichnet.

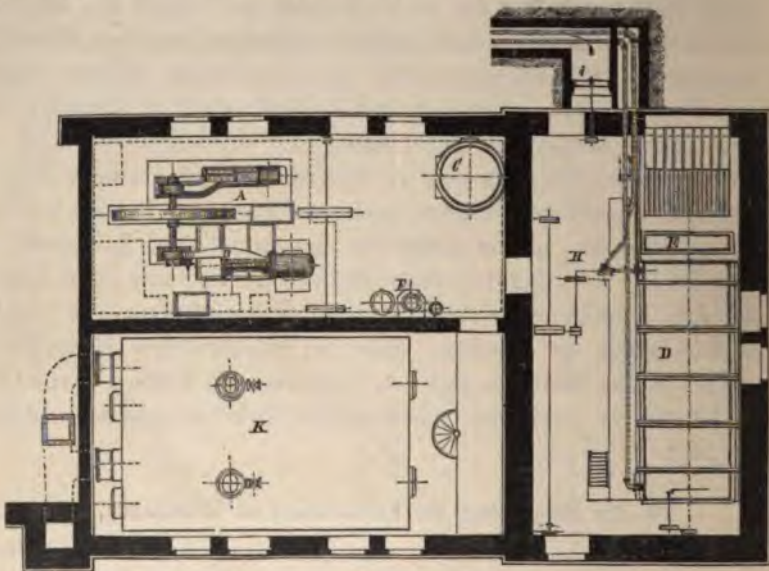


Fig. 397.

Das Schlachthaus in Wiesbaden erhält die Fleischhallen auf 2° bis 5° C. kühl, und ist versehen im oberen Raum mit einer Kammer à 2 qm Grundfläche, 1 à 3 qm, 27 à 4 qm, 8 à 6 qm, 6 à 8 qm, 2 à 10 qm; der untere Raum mit 26 Kammern à 4 qm, 4 à 6 qm und 2 à 8 qm. Zum Betriebe dient eine Kältemaschine Nr. V.

Erst nachdem diese Maschinen auf Schiffen und in Lagerräumen Anwendung gefunden haben, ist der Geschäftszweig in England in lebhaften Gang gekommen, und beginnt man sich auch neuerdings in Deutschland darin zu regen.

Es kommt bei der Kühlung von Bierbrauereien hauptsächlich darauf an, niedrige Temperaturen zu erzeugen. Bei Fleischkonservirung sind andere Erwägungen maassgebend.

An dem Verderben oder an der Zerstörung von Lebensmitteln sind kleine Pilze und deren Sporen die Ursache, die aber nur in der Feuch-

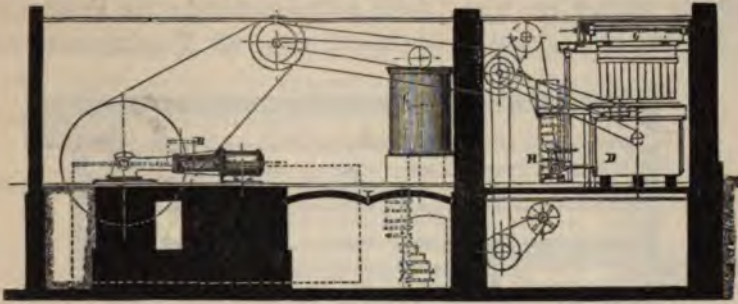


Fig. 398.

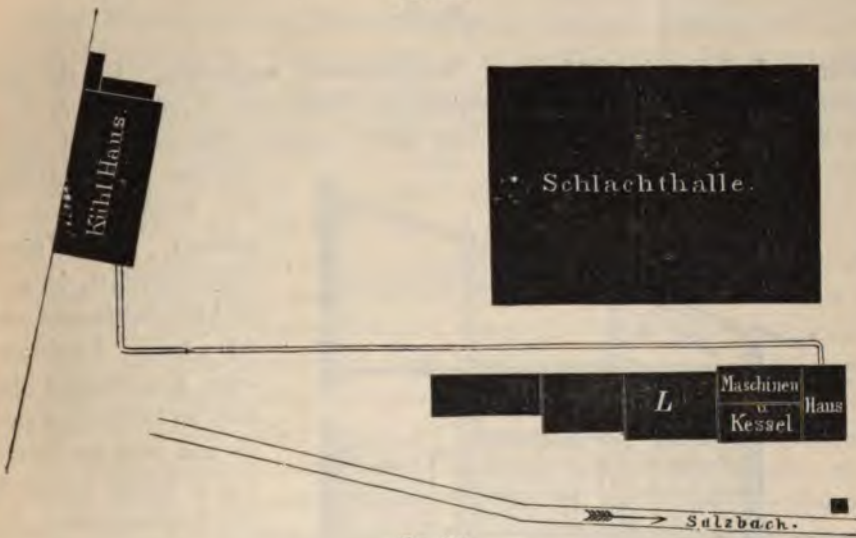


Fig. 399.

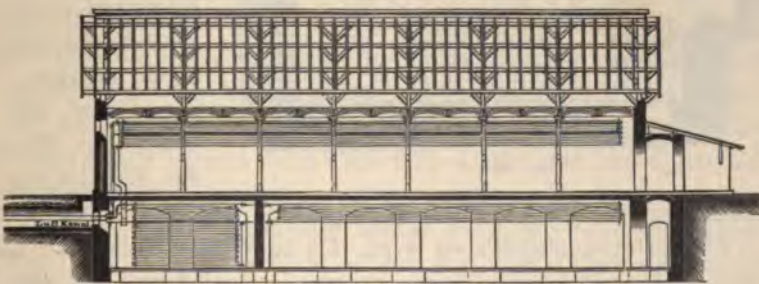


Fig. 400.

tigkeit gedeihen, während sie in der Trockenheit zu Grunde gehen. Es müsse daher, so schliesst der Direktor der Maschinenfabrik „Humboldt“, Herr Nimax, bei Konservierung von Lebensmitteln und vor allen

Dingen von Fleisch die Hauptaufgabe sein, neben der niedrigen Temperatur für Austrocknung der Oberflächen zu sorgen. Es sei bekannt, dass die Luft, je wärmer sie wird, desto aufnahmefähiger für Feuchtigkeit ist. Schon in Tabelle VIII auf S. 37 findet sich der Feuchtigkeitsgehalt ge-

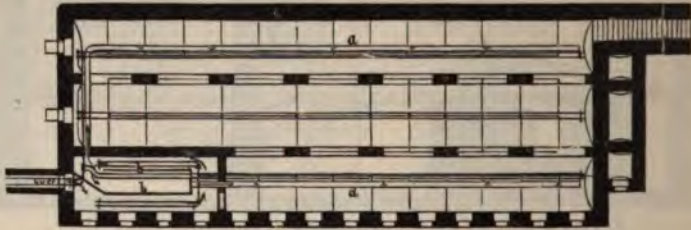


Fig. 401.

sättigter Luft bei verschiedenen Temperaturen angegeben. Sobald also kalte gesättigte Luft in einen Fleischkeller eingeblasen werde, so erwärme sie sich an dem Fleisch und nähme dabei die zum Sättigungsgrad erforderliche Feuchtigkeit auf. Wird sie dann abgesaugt, über einen Kühler geführt, der z. B. die kalte Salzlösung oder das kalte Ammoniak oder Kohlensäure enthält, so kühlt sie wieder ab und lässt die Feuchtigkeit fallen, welche an den Kühler anfriert. Auf diese Weise werde der Kühlraum ventilirt, das Fleisch abgekühlt und frisch erhalten, indem den Pilzen und Bakterien die Möglichkeit der Entwicklung fehle.

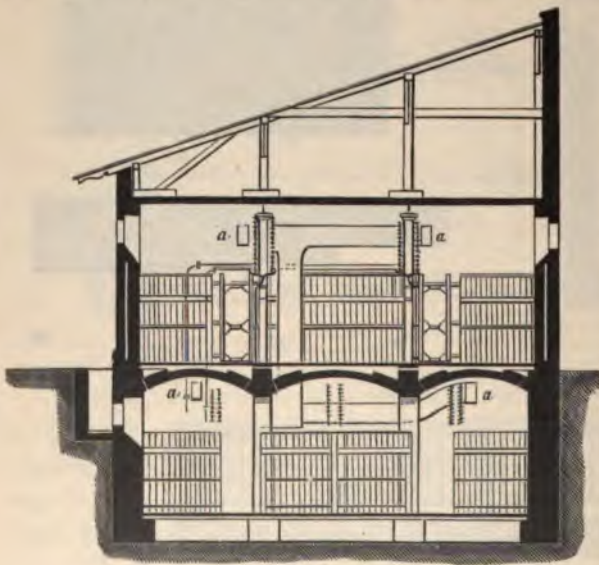


Fig. 402.

Aus der Tabelle VIII ist zu erkennen, dass z. B. 1000 cbm Luft von $+2^{\circ}$, die etwa eingeblasen wird, 5,5 kg Wasser enthalten. Zieht sie aus dem Kühlraum mit $+6^{\circ}$ ab, so enthält sie 7,2 kg, hat also 1,7 kg Wasser aufgenommen.

Aus dieser Darstellung soll hervorgehen, dass zur Aufbewahrung frischen Fleisches nöthig ist, dass der Kühler ausserhalb des Kühlraumes sich befinde. Etwas frische Aussenluft kann übrigens jeweilig zugeführt

werden. Es soll ferner daraus hervorgehen, dass der Luftkühler auch als Luftreiniger diene, indem mit der Feuchtigkeit die Pilze und Sporen mit anfrieren. Die Kühlapparate müssen dann von Zeit zu Zeit abgethaut werden und darin giebt es verschiedene Konstruktionen; auch wendet man häufig zwei Apparate an, die abwechselnd in Thätigkeit sind.

Nachstehend ist eine solche

24. Fleischkühlanlage von der Maschinenbauanstalt „Humboldt“ in Kalk bei Köln a. Rh.

dargestellt. Sie sagt darüber: Wenn ein direkt wirkender Kühlapparat etliche Zeit im Betriebe war, so haben sich seine Rohrschlangen mit einer dicken Reifschicht bedeckt, die dermaassen anwachsen kann, dass sie als schlechter Wärmeleiter den Wärmedurchgang sehr beeinträchtigt und den Apparat schliesslich unwirksam macht. Die beste Wirkung ist zu erzielen, wenn die Oberfläche der Rohrschlangen möglichst wenig bereift ist, woraus folgt, dass die Reifschicht, nachdem sie zu einer gewissen Dicke angewachsen ist, abgethaut werden muss. Soll nun im Luftwechsel des Kühlraumes und in der Reinigung der Luft kein Stillstand eintreten — und ein solcher wäre für das Fleisch im Kühlraum von den schädlichsten Folgen —, so muss ein zweiter Kühlapparat vorhanden sein, der in Betrieb genommen werden kann, sobald der bereifte ausser Betrieb gesetzt werden soll; dieser ist alsdann durch Abthauen wieder in betriebsfähigen Zustand zu setzen. Letzteres muss nun dadurch geschehen, dass die leicht flüchtige Flüssigkeit von seinen Rohrschlangen abgesperrt und ein Strom von Luft von einer Temperatur über 0° über die Rohrschlangen weg getrieben wird.

In der Reifschicht der Rohrschlangen ist nun aber eine sehr beträchtliche Menge Kälte aufgespeichert, 10 bis 15 Procent der stündlichen Leistung der Kälteerzeugungsmaschine, und da das Abthauen öfters im Laufe des Tages vorgenommen werden muss, so entsteht dadurch ein sehr grosser Kälteverlust; es sei denn, dass man die durch das Abthauen abgekühlte Luft in den Kühlraum leiten und so die wiedergewonnene Kälte ausnutzen wollte. Diese Ausnutzung wäre jedoch allzu theuer auf Kosten der Reinheit der Luft im Kühlraum erkauft! Denn die Pilzkeime, die man vorher mit grosser Mühe aus dem Kühlraume abgeführt und im Reif aufgespeichert hat, werden durch das Abthauen wieder frei und finden sich im Thauwasser in reichlicherer Menge denn je vorher im Kühlhaus zusammen. Die abthauende Luft nimmt aus dem Thauwasser Feuchtigkeit und folglich auch Pilzkeime mit und würde diese in den Kühlraum hineintragen, da sie ja nicht wieder durch starke Kälte getrocknet und gereinigt wird.

Hier kommt nun der Humboldt'sche Kühlapparat zur Geltung: er vereinigt in sich die beiden vorhin erwähnten einzelnen Apparate, ge-

stattet aber, die Luft aus dem im Abthauen begriffenen Apparat durch den andern zu leiten, der in voller Kälteabgabe steht; die im Reif auf-

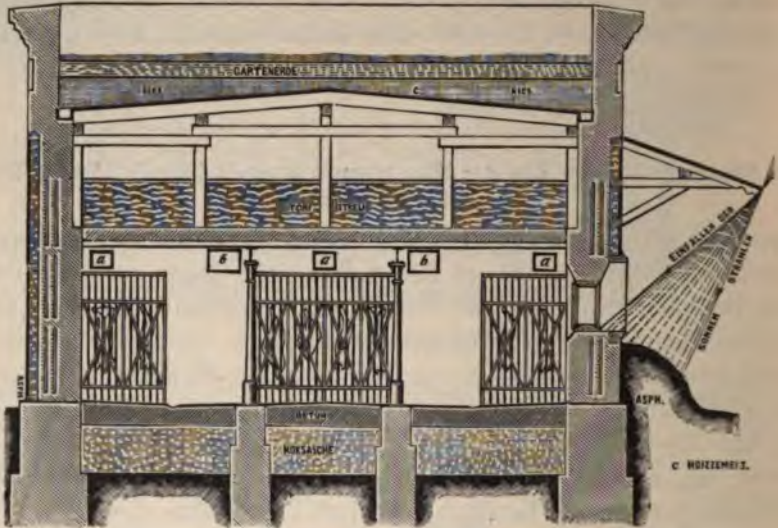


Fig. 403. Querschnitt durch das Kühlhaus.

a Leitung für kalte Luft, b desgl. für warme Luft, c Holzceement.

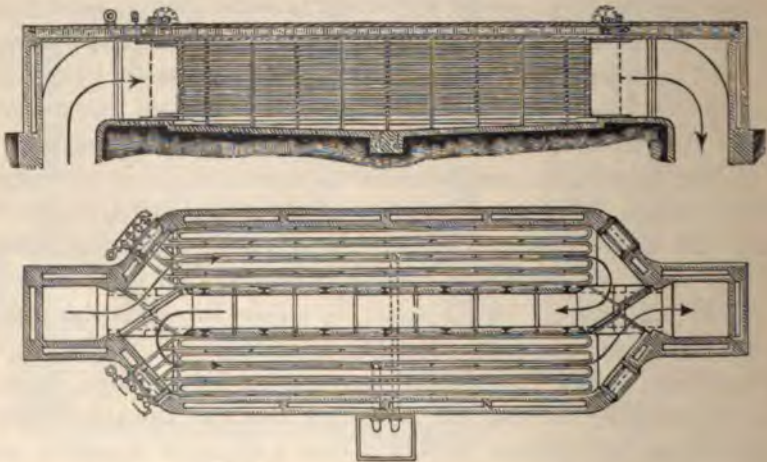


Fig. 404. Längenschnitt, Grundriss und Querschnitt eines Kühlapparates.

gespeicherte Kälte wird also verwerteth, die Luft aber, welche sie aufnimmt, vor ihrem Eintritt in den Kühlraum vollständig getrocknet und gereinigt. Diese Luft ist jedoch keine andere als die des Kühlraums, die den früher beschriebenen Kreislauf macht; der betreffende Kühlapparat ist aber derart umschaltbar, dass die Luft zu-

erst, sei es um die eine, sei es um die andere Rohrschlange geleitet wird, und da auch abwechselnd die leichtflüchtige Flüssigkeit in die eine oder andere Schlange geführt werden kann, so kennzeichnet sich der Humboldt'sche Kühlapparat durch die gleichzeitige Umschaltung des Luftstroms um die Schlangen und der expandirenden, leichtflüchtigen Flüssigkeit in den Schlangen.

Der Apparat ist durch D.R.P. Nr. 33111 geschützt.

Nach dem vorhin Gesagten ist nunmehr dieser Kühlapparat leicht zu beschreiben und auch zu verstehen (Fig. 404). In einem länglichen Gehäuse aus Mauerwerk, welches nach vorn und hinten sich zu einem Kanal verengt und mit einer doppelten Bohlenlage abgedeckt ist, liegt links und rechts je ein Rohrschlängensystem, so dass zwischen diesen noch ein Gang frei bleibt. Dieser Gang wird seiner Länge nach durch Scheidemauern eingefasst und dadurch jedes Schlangenbündel in eine Kammer eingeschlossen. An den beiden Stellen, wo das Gehäuse sich zu einem Kanal verengt, sind drehbare Blechklappen angebracht zur richtigen Leitung des Luftstromes durch den Kühlapparat. Angenommen, das Schlangenbündel links ist aussen bereift und erhält im Innern keinen Zufluss von leichtflüchtiger Flüssigkeit, kann also keine Kälte mehr abgeben; in das Schlangenbündel rechts hingegen strömt diese Flüssigkeit ein, verdampft dort und erzeugt dadurch energische Kälte, die Rohre sind reiffrei und übertragen demnach diese Kälte ganz nach aussen. Das wäre der Stand des Apparates unmittelbar nach einer Umschaltung. Nun sind die beiden Luftklappen so zu stellen — was von aussen mittels eines Handrades mit Schraubengetriebe leicht zu bewerkstelligen ist —, dass der von einem Ventilator durch eine Leitung aus dem Kühlraum angesaugte Luftstrom aus dem anderen Kanal zuerst durch die Kammer links um die bereifte Rohrschlange, dann durch den Mittelgang, die Luftumföhrungskammer, und schliesslich durch die Kammer rechts um die reiffreie Rohrschlange in den hinteren Kanal und durch eine hieran anschliessende Leitung wieder zurück in den Kühlraum getrieben wird. In der Kammer links thaut die warme Luft den Reif ab und kühlt sich dadurch schon vor, in der Kammer rechts aber kühlt sie sich vollends sehr tief ab, so dass ihre Feuchtigkeit, sowohl diejenige, welche sie aus dem Kühlraum mitgebracht, als die, welche sie beim Abthauen in der Kammer links aufgenommen hat, sich als Reif an dem Schlangenbündel rechts niederschlägt. Das aus dem Reif entstehende Thauwasser mitsammt den aufgenommenen Pilzkeimen wird durch ein Abflussrohr aus dem Kühlapparat fortgeleitet.

In dieser Stellung arbeitet der Apparat nun fort, bis die Schlangen in der Kammer rechts mit einer Reifschicht von einer gewissen Dicke bedeckt sind; zeitig vorher sind die Schlangen in der Kammer links bereits

entreift. Dann erfolgt die Umschaltung der expandirenden Flüssigkeit in den Schlangen und des Luftstroms um dieselben; dieser streicht nunmehr zuerst durch die Kammer rechts, deren Schlangen bereift sind und keinen Zufluss von expandirender Flüssigkeit erhalten, dann durch die Umlenkungskammer und zuletzt durch die Kammer links, welche nunmehr die reiffreien und kältespendenden Schlangen enthält. Es kann also kein Atom Luft aus dem Kühlapparat treten, das nicht vollkommen getrocknet und gereinigt ist.

Zur Erkennung des Zeitpunktes, wann die Umschaltung des Kühlapparates stattfinden muss, ergeben sich sehr bald im Betriebe verschiedene Anhalte: die Reifschicht selbst, von deren Aussehen man sich durch einen Blick durch die Schaufenster des Apparates überzeugen kann, der Stand der am Apparat angebrachten Thermometer sind untrügliche Zeichen, und schliesslich nach einigen Wochen hat sich der Maschinist aus diesen Zeichen eine Regel gebildet, nach so und so viel Stunden die Umschaltung vorzunehmen. Da diese keinerlei Schwierigkeiten bereitet, so empfiehlt es sich, sie lieber sechs- als nur viermal — um eine Zahl zu nennen — vorzunehmen, weil die Wirkung des Apparates ja um so energischer ist, je weniger dick dessen Schlangen mit Reif bedeckt sind.

Bezüglich der Betriebskosten sind im Nachstehenden die „calorimetrischen Leistungen“ angeführt, die sich bei ausgeführten Kühlanlagen des Humboldt'schen Systems ergeben haben.

Bei einer Anlage (Crefeld) ergab sich, für $\left\{ \begin{array}{l} 68\,359 \text{ Cal. für Luftküh-} \\ \text{eine Gesamtkälteleistung von } 98\,359 \text{ Cal. in} \\ \text{1 Stunde:} \end{array} \right.$ $\left. \begin{array}{l} \text{lung und } 30\,000 \text{ Cal. für} \\ \text{Eiserzeugung.} \end{array} \right.$

1. ein Arbeitsaufwand von 50,22 ind. PS., d. h. 1958 Cal. für 1 ind. PS. und Stunde;
2. ein Dampfverbrauch von 565,7 kg, d. h. 173,9 Cal. für 1 kg trockenen Dampfes;
3. ein Kohlenverbrauch von 68 kg, d. h. 1446,4 Cal. für 1 kg reiner Kohle von achtfacher Verdampfung.

Bei einer anderen, kleineren Anlage, die nur zur Luftkühlung dient (Freiburg i. B.), ergab sich für eine Kälteleistung von 40000 Cal. in 1 Stunde:

1. ein Arbeitsaufwand von 23,7 ind. PS., d. h. 1680 Cal. für 1 ind. PS. und Stunde;
 2. ein Dampfverbrauch von 219 kg, d. h. 182 Cal. für 1 kg trockenen Dampfes;
 3. ein Kohlenverbrauch von 27,5 kg, d. h. 1456 Cal. für 1 kg reiner Kohle von achtfacher Verdampfung.
- } Die vorzügliche Dampfmaschine brauchte nur 9,2 kg Dampf für 1 ind. PS. und Stunde!

Die Figuren 405 bis 407 stellen ein solches komplettes Kühlhaus dar, und zwar bezeichnet *a* die Dampfmaschine, *b* den Ammoniakkompressor, *c* den Oelabscheider, *d* den Ammoniakkondensator, *e* den Ammoniak- und Oelsammler, *f* den Destillationsapparat, *g* die Handpumpe für Salmiakgeist, *h* den Luftkühlapparat, *i* den Exhaustor, *k* die Leitung für kalte Luft, *l* für erwärmte Luft, *m* für frische und *n* für abgeleitete Luft, *o* den Eisgenerator, *p* das Aufthaugefäss, *q* den Entleerungstisch, *r* die Füllvorrichtung, *s* den Laufkrahnen, *t* die Transmission, *u* den Dampfkessel, *v* die Dampfspeisepumpe und *w* den Raum für die elektrische Lichtmaschine.

Zu erwähnen ist noch, dass das Oel der Stopfbüchsen an den Kompressoren des „Humboldt“ in gefrorenem Zustande erhalten wird, wodurch vollkommene Abdichtung derselben erreicht werden soll. Diese Einrichtung besitzen auch die Maschinen von Fixary in Paris.

Dieser Darstellung gegenüber, welche Ausgangs des Jahres 1892 in der „Deutschen Bauzeitung“ abgedruckt war, gab der bekannte Direktor der Berliner Markthallen, Herr Georg Osthoff, die folgende beachtenswerthe Entgegnung. Bei dem Stande dieser Angelegenheit scheint es mir geboten, referirend so weit wie möglich zu verfahren, woraus dann das richtige Verfahren für Fleischkühlhallen und die verschiedenen Verhältnisse derselben sich von selbst ergeben wird. Herr Osthoff sagt darüber:

„Ueber Nothwendigkeit und Nutzen — in finanzieller und sanitärer Beziehung — von maschinell gekühlten, im Anschlusse an städtische Schlachthöfe betriebenen Fleischkühlhäusern herrscht zweifellos unter allen Interessenten übereinstimmende Meinung, was zur Genüge durch die That- sache erhärtet ist, dass in Deutschland bereits die Hälfte aller Städte über 25000 Einwohner zur Errichtung solcher Kühlhäuser übergegangen ist.

Mittheilungen über Fleischkühlung und Konservirung können somit heute mit Sicherheit lebendiges Interesse beanspruchen. Da nun die Anschauungen der Mehrzahl der mit diesem Sondergebiet vertrauten Techniker sich mit den in jenem Aufsatz niedergelegten Ansichten zum grossen Theil nicht decken, so dürfte eine Besprechung derselben und eine Erörterung der verschieden aufgefassten Punkte angezeigt sein.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Frage nach der zweckmässigsten Kühlhaustemperatur. Uns will die in jenem Aufsatz geltend gemachte Meinung von der Zulässigkeit höherer Temperaturen recht bedenklich erscheinen. In Uebereinstimmung mit der Praxis erachten wir vielmehr eine Lufttemperatur von nur wenigen Graden über den Gefrierpunkt für ein unerlässliches Erforderniss einer rationellen Fleischkühlanlage. Ist auch das Fleisch in höher temperirten Räumen dem Verderben nicht ausgesetzt, so doch dem Austrocknen, denn es bedarf keines Beweises, dass wärmere Luft ein stärkeres Verdampfen der Fleischsäfte hervorruft, als kalte Luft.

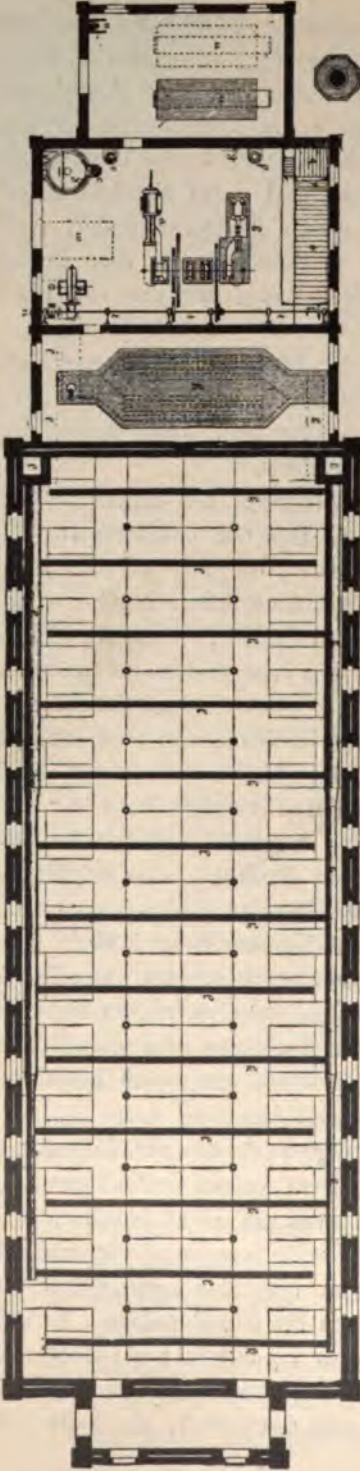


Fig. 407.

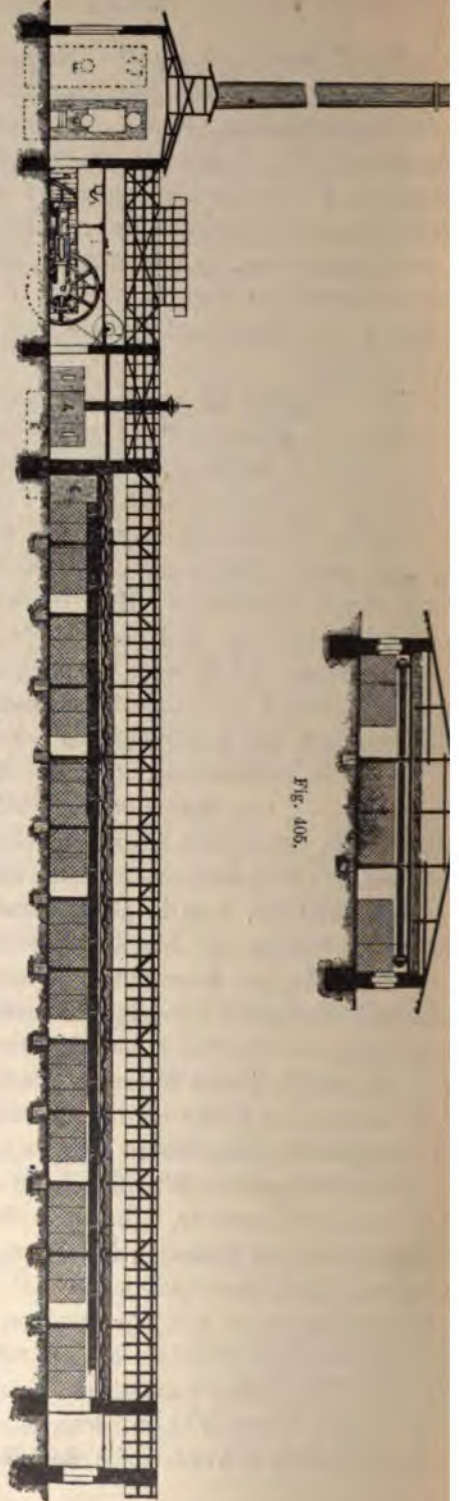


Fig. 408.



Fig. 409.

Unseres Erachtens ist es eine vollständige Verkennung der Aufgabe eines Kühlhauses, wenn nur Trockenheit und Reinheit der Luft für erforderlich, aber eine Temperatur derselben bis 15° C. für zulässig gehalten wird. In einem derartigen „Kühl“-Hause wird nach längerer Aufbewahrung das Fleisch gedörst sein und damit wäre doch sowohl den Metzgern, wie den Konsumenten ein schlechter Dienst erwiesen.

Vielmehr erfüllt ein Kühlhaus seinen Zweck nur dann vollkommen, wenn das Fleisch möglichst unverändert an Aussehen und Gewicht aufbewahrt werden kann. Hierfür ist aber eine niedrige Temperatur eine ganz wesentliche Bedingung. Ausserdem darf unseres Erachtens die durch Kälte veranlasste Entwicklungshemmung der fäulniserregenden Keime nicht unterschätzt werden.

Ganz bestimmten Widerspruch fordern aber die einseitigen Ansichten und Urtheile über den „Humboldt“-Luftkühler heraus, wenn auch der Eifer und die Wärme begreiflich erscheinen, mit welchen Herr Nimax als Ingenieur der Maschinenbauanstalt „Humboldt“ für die Lieferungen seiner Firma eintritt. Diesen Widerspruch halten wir für um so nothwendiger, als den wenigen städtischen Anlagen mit Humboldt-Apparaten mehr als fünfzig gegenüberstehen, welche mit Kühleinrichtungen versehen sind, in welchen die Luft in unmittelbare Berührung mit der kalten Salzsoole tritt, weil ferner z. B. eine grosse Anzahl Anlagen dieses Systems in Ausführung begriffen ist und weil demnach wohl sehr triftige sachliche Gründe vorliegen und Erörterung verdienen, welche die Entscheidung zu Gunsten dieses Systems und gegen die Einrichtungen des Humboldt herbeiführen.

Es existiren bekanntlich verschiedene Luftkühlapparate, in denen durch die kalte Salzsoole grosse Flächen gebildet und von der Kühlhausluft bestrichen werden. Unter Verzicht auf das Herausgreifen einer bestimmten Konstruktion beschränken wir uns jedoch darauf, die grundsätzlichen Seiten beider Kühlmethoden zu besprechen.

Jeder Röhrenkühler arbeitet eigentlich nur einen Moment, d. h. so lange seine Oberfläche frei von jedem Niederschlag ist, vollkommen. Sogleich aber beginnen sich die Kühlflächen mit einer fortgesetzt an Dicke zunehmenden Reifschicht zu bedecken. Schnee ist aber ein sehr schlechter Wärmeleiter und beeinträchtigt die Kälteübertragung mehr und mehr. Während die Ammoniakverdampfung in den Röhren des Humboldt-Apparates bei -20° C. stattfindet, herrscht an der Oberfläche des Schneebelages diese niedrige Temperatur keineswegs, sondern eine durchschnittlich um vielleicht 10 oder 15° höhere Temperatur und die Luft tritt thatsächlich gar nicht mit Flächen von -20° , sondern nur mit solchen von -5° oder -10° in Berührung. Der Umstand, dass die Wirksamkeit der Kühlflächen eines Röhrenkühlers während des Betriebes fortwährend

abnimmt, während bei den Salzwasserluftkühlern der Luft ständig eine gleich kalte und deshalb gleichmässig wirksame Oberfläche dargeboten wird, bildet allein schon einen Vorzug der letzteren Kühlmethode.

Was die Trocknung der Luft durch beide Systeme anbetrifft, so glauben wir dem mit freien Salzwasserflächen arbeitenden Apparat mindestens eine gleich gute, eher aber eine günstigere Wirkung zuschreiben zu sollen, als dem Humboldt-Röhrenkühler. Herr Nimax beansprucht zwar für letzteren „so zu sagen eine mechanische Entfeuchtung der Luft“ entgegen der „physikalischen“ bei der ersten Kühlmethode und behauptet, die gekühlte Luft verlasse den Salzwasserkühler gesättigt, aber den Röhrenkühler trockener. Diese Unterscheidung ist aber eine durchaus unbegründete und unverständliche. Wenn die Luft an bereiften Rohrflächen entlang streicht und hierbei eine Abkühlung bis zu -1 bis -3° C. erfährt, so kann eine Kondensation und Entziehung ihres Wasserdampfes nur so weit eintreten, als es ihrer Abkühlung entspricht. Diesem physikalischen Vorgang entsprechend wird die Luft den Kühler gesättigt verlassen und ein Grund für die jenen mit Schnee belegten Flächen zugeschriebene hypothetische Eigenthümlichkeit einer noch weitergehenden „mechanischen“ Befreiung der Luft von Wasserdampf ist ganz unerfindlich. Auch bei der Berührung der Luft mit kalter Salzsoole findet jene physikalische Entfeuchtung statt. Aber es kommt noch ein anderer Faktor in Betracht, nämlich die Eigenschaft konzentrierter Salzlösungen, der Luft Feuchtigkeit zu entziehen. Chlornatrium oder Chlorkalcium absorbiren, wie bekannt, die Wasserdämpfe der Luft, sie trocknen die Luft aus. Die gleiche Eigenschaft, wenn auch in geringerer Intensität, wohnt den konzentrierten Lösungen jener Salze inne. Feuchte Luft, durch diese Lösungen hindurchgetrieben, verlässt sie nicht gesättigt, sondern trockener, es findet eine chemische Bindung des Wassers statt. Wir müssen hierbei ausdrücklich hervorheben, dass wir der vorbesprochenen Hypothese einer „mechanischen“ Entfeuchtung keineswegs wieder eine Hypothese, sondern eine in der Physik und Thermochemie wohlbekanntes Thatsache gegenüberstellen. Eine Trocknung der Luft unter den Sättigungspunkt herab kann demnach wohl bei den Kühlern mit freien Salzwasserflächen, nicht aber bei Röhrenkühlern stattfinden.

Uebrigens muss den zuweilen übertriebenen Forderungen hinsichtlich Trockenheit der Kühlhausluft gegenübergetreten werden. Luft mit 75 bis 80 Proc. Feuchtigkeitsgehalt ist reichlich trocken genug. Ein noch geringerer Feuchtigkeitsgehalt ist nicht nur nutzlos, sondern schädlich, weil er ein Austrocknen des Fleisches begünstigt, also einen sehr unerwünschten Gewichtsverlust veranlassen kann. Auch beweisen die mit Luftkühlleinrichtungen ohne maschinelle Ventilation arbeitenden Kühlhallen, bei denen die Kühlrohre an den Decken frei aufgehängt sind und bei welchen der Feuchtigkeitsgehalt der Kühlhausluft ein noch höherer ist,

dass sich auch unter diesen Verhältnissen das Fleisch wochenlang konserviren lässt. In Amerika beispielsweise sind sämtliche Nahrungsmittelkonservierungsanlagen — und gegen deren riesenhaften Umfang müssen die unsrigen verschwinden — ohne maschinelle Ventilation eingerichtet und werden die Ammoniakverdampfungsrohre selbst in den zu kühlenden Räumen aufgehängt.

Trotzdem reicht die Trockenheit der Kühllhallenluft für die Fleischaufbewahrung vollständig aus.

Noch bedarf eine von Herrn Nimax bei Besprechung des Luftentfeuchtungsprozesses gemachte Angabe der Berichtigung. Herr Nimax behauptet nämlich, in den Rohrschlangen herrsche „eine Temperatur von -20° C., also eine viel tiefere, als man sie der Salzwasserlösung ertheilen kann“. Letzteres ist unzutreffend, wie jeder Kältetechniker weiss. Beispielsweise verweisen wir auf die Veröffentlichung der Versuche in der Kältemaschinenversuchsanstalt zu München, aus denen ersichtlich, dass eine Versuchsreihe jeweils bei Temperaturen der Chlorkaliumlösung von -18 bis -21° C. vorgenommen wurde. Würde also die Nothwendigkeit der Anwendung so niedrig temperirter Flächen vorliegen, so böte die Salzsoole Gelegenheit hierfür. Wie aber bereits ausgeführt, ist jene niedrige Temperatur überflüssig und auch bei den Röhrenapparaten des Humboldt an den mit der Luft in Berührung stehenden Flächen nicht vorhanden.

Auch hinsichtlich der Reinigung der Luft scheinen uns die Salzwasserluftkühler den Röhrenkühlern des Humboldt überlegen, wofür eine genaue und an ähnliche Vorgänge in der freien Atmosphäre anschliessende Betrachtung des Reinigungsprozesses den Beweis liefert. Wenn im Freien durch Abkühlung der Luft sich der Wasserdampf kondensirt, Wolken oder Nebel bildet, so findet nachgewiesenermaassen die Bildung der Wassertropfchen zunächst an den von der Luft mechanisch mitgeführten festen Körperchen statt. Ganz dasselbe geht in den Kühlapparaten jedes Systems vor sich und die Wasserpartikelchen gelangen hier mit ihrem Kern — der in irgend einem Körper organischer oder anorganischer Natur bestehen kann — an die Kühlflächen, an welchen sie durch Adhäsion festgehalten werden. In dieser Beziehung haben also Röhrenkühler vor Salzwasserflächenkühlern nichts voraus. Wohl aber geht bei letzteren ein zweiter von dem Kühlvorgang unabhängiger Luftreinigungsprozess nebenher. Man weiss, dass jeder Regenguss luftreinigend wirkt, man weiss, dass Luft über Wasserflächen getrieben gereinigt wird, weil die Verunreinigungen schon durch Adhäsion von dem Wasser zurückgehalten werden. Eine reinigende Wirkung gleicher Art wird durch die Kühler mit Salzwasserflächen erzielt, während sie den Röhrenkühlern abgeht.

Herr Nimax kommt nun zwar zu dem Schlusse, die Salzsoole werde „inficirt“ und es sei schwer verständlich, wie sie in diesem Zustande die

Luft noch wirksam reinigen könne; indess bietet die Widerlegung dieser Ansicht keine Schwierigkeit. Zunächst wäre ein Aufhören der oben dargelegten reinigenden Wirkung der Salzsoole, oder ein Uebergang der Verunreinigungen von letzterer an die Luft nur denkbar bei einem mechanischen Mitreissen der Flüssigkeit durch die Luft. Hierfür ist aber doch, wenn die Salzsoole nicht gerade zerstäubt wird, gar kein Grund vorhanden. Erachtet man es aber doch für möglich, dann muss die gleiche Befürchtung bei dem Humboldt-Kühler herrschen, weil die Hälfte desselben immer im Abthauen und Abtropfen begriffen ist, die Luft also ebenso gut Gelegenheit hätte, einen Theil der vorher abgelagerten Verunreinigungen wieder mitzunehmen.

Weit wichtiger noch ist aber die Thatsache, dass eine „Infektion“ der Salzlösung bei deren bekannten antiseptischen Eigenschaften ausgeschlossen erscheint. Durch Einsalzen, Pökeln wird das Fleisch konservirt. Salz wirkt fäulniswidrig, somit wären selbst mit in die Kühlhalle gelangende Spuren der Salzlösung äussert harmlos, was sich von dem event. mitgerissenen Thauwasser der Röhrenapparate nicht einmal behaupten lässt.

Dass thatsächlich durch die mit freien Salzwasserflächen arbeitenden Luftkühler eine praktisch vollkommen genügende und durch keine andere Einrichtung übertroffene Luftreinigung erzielt wird, beweisen einerseits die ganz vorzüglichen Erfahrungen an den vielen seit einer Reihe Jahren mit solchen Apparaten betriebenen Fleischkühlhäusern, andererseits aber auch wissenschaftliche, von Seiten des in der Gährungsphysiologie berühmten Gelehrten Dr. Hansen vom Carlsberger Laboratorium in Kopenhagen vorgenommenen Versuche. Die Gärkeller der bekannten Jacobsen'schen Brauereien Carlsberg in Kopenhagen werden nämlich mittels Rohrbündeln gekühlt, die aussen von Salzlösung, an welcher die Kellerluft vorbeigeblasen wird, berieselt werden. Luftproben, entnommen aus den Gärkellern, wie auch an den verschiedensten anderen Orten, ergaben, dass die Gärkellerluft weitaus die grösste Reinheit aufzuweisen hatte, so zwar, dass wenn die Zahl der Keime in ungereinigter Kellerluft zu 100 angenommen wird, sie in der atmosphärischen Luft 50 bis 57, in den auf beschriebene Weise gekühlten Gärkellern nur 22 betrug.

Die luftreinigende Wirkung der Salzwasserflächen kann deshalb unmöglich angezweifelt werden.

Bei allen Röhrenkühlern bedingt der Schneebeleg eine auf Entfernung desselben hinzielende Wartung. So einfach auch bei den Röhrenkühlern die bezüglichen Operationen sind, die in der Regel auf ein Abthauen der Rohre hinauslaufen und in dem Umstellen einiger Hähne u. s. w. bestehen, bleibt doch die Möglichkeit bestehen, dass diese Umschaltung von dem Personal unterlassen wird, und sie liegt um so näher, als eine solche Unterlassung keine für den Maschinisten unmittelbar fühlbare Folge, also

eigentliche Betriebsgefahr oder Störung, sondern nur eine allmähliche Verminderung der Kälteleistung und der Qualität der Kühlhausluft nach sich zieht. Jedenfalls muss die Entbehrlichkeit einer solchen Bedienung bei den Salzwasserflächenkühlern als Vorzug dieses Systems anerkannt werden.

Es kommt noch hinzu, dass das Abthauen mittels der Kühlhausluft selbst nur so lange gut von statten geht, als deren Temperatur wesentlich höher als der Gefrierpunkt liegt. Deshalb erscheint bei den Humboldt-Apparaten der Wunsch nach höheren Kühlhaustemperaturen begrifflich. Je näher diese Temperatur aber dem Nullpunkte rückt, je vollkommener also nach unserer Ansicht das Kühlhaus seinem Zwecke entspricht, desto mehr wachsen die Schwierigkeiten des Aufthauens, bzw. entsteht die Nothwendigkeit, andere Wärmequellen zum Aufthauen heranzuziehen.

In hervorragendem Maasse hängt die Brauchbarkeit der Luftkühlapparate von ihrer Betriebsökonomie ab, und es erübrigt noch, die beiden in Frage stehenden Kühlsysteme auch nach dieser Richtung einem Vergleiche zu unterziehen. Oberflächlich betrachtet, scheint allerdings die Verwendung des Verdampfers als Luftkühler den Vortheil der unmittelbaren Uebertragung der Kälte von dem verdampfenden Medium an die Luft einzuschliessen, während im anderen Falle diese Uebertragung zuerst an die Salzsoole und erst von dieser an die Luft stattfindet. Eine eingehendere Betrachtung führt aber zu einem ganz anderen Ergebniss. Jener unmittelbare Kälteübergang ist bei den Röhrenkühlern thatsächlich gar nicht vorhanden. Der durchschnittliche Zustand dieser Apparate zeigt eine Schneeschicht auf den Röhren; die Kälte muss also erst an diese Schicht abgegeben werden, bevor diese sie ihrerseits an die Luft abgiebt. Es ist somit auch hier ein Zwischenmittel und zwar obendrein ein herzlich schlechter Wärmeleiter eingeschaltet, und es kann für Sachverständige gar keinem Zweifel unterliegen, dass eine um die Verdampferrohre energisch circulirende Salzlösung einen viel intensiveren, bzw. mit geringerem Temperaturgefälle erfolgenden Wärmeaustausch zwischen verdampfendem Medium und Luft veranlasst, als jene in Ruhe befindliche, die Rohre umschliessende Schneekruste. Bei dem Humboldt-Kühler tritt erschwerend hinzu, dass die Hälfte der gesammten Kühlflächen jeweils nahezu nutzlos daliegt. Denn günstigsten Falls herrscht an der dem Abthauprozess unterliegenden Kühlflächenhälfte eine Temperatur von Null Grad. Die Folgen dieser Thatsache liegen klar zu Tage. Während bei den uns bekannten Kühlapparaten mit Salzwasserflächen der Temperaturunterschied zwischen Luft und verdampfendem Medium trotz des Zwischenmittels einer Salzlösung von 9° bis 10° C., die Verdampfungstemperatur also etwa -12° C. beträgt, wenn die Luft den Kühler mit -1° bis -3° C. verlässt, ist nach den Nimax'schen Angaben bei den Humboldt-Apparaten eine Ammoniaktemperatur von -20° C. zur Erzielung des gleichen Kühleffektes erforder-

lich. Das ist aber im höchsten Grade unrationell, weil der Arbeitsverbrauch einer Kältemaschine für eine bestimmte Kälteleistung mit sinkender Verdampfungstemperatur zunimmt.

Wird eine bestimmte Kältemenge bei -20°C . erzeugt, so ist der Arbeitsaufwand um rund 36 Proc. höher, als wenn die gleiche Menge bei -12°C . geleistet wird. Deshalb ist es gerade für die mechanische Kälteerzeugung erste und elementarste Regel, mit der Temperatur der verdampfenden flüchtigen Flüssigkeit nur so weit herunter zu gehen, als es zur Erzielung der gewünschten niedrigen Temperatur unerlässlich ist, und es ist eine Kraft- bzw. Kohlenvergeudung, Luftkühlapparate anzuwenden, welche zur Erzielung einer Lufttemperatur von -3°C . mit -20° Verdampfer-temperatur arbeiten müssen, während sich genau die gleiche Wirkung mit -12° Verdampfungstemperatur erzielen lässt. Die Existenz der von Herrn Nimax behaupteten „nachgewiesenen calorimetrischen Ueberlegenheit“ der Humboldt-Einrichtungen müssen wir demnach, gestützt auf die vorstehenden Ziffern, auf das Bestimmteste in Abrede stellen. Wir erachten vielmehr gerade in diesem Punkte, also hinsichtlich des geringen Arbeitsaufwandes der Betriebsökonomie, die Salzwasserflächen-Luftkühlapparate den Röhrenkühlern des Humboldt ganz besonders überlegen. Technisch besteht allerdings die Möglichkeit, diesen erheblichen Nachtheil solcher Röhrenkühler zu vermeiden; es müssten nämlich ihre Flächen sehr bedeutend vergrößert werden. Dann aber treten an Stelle grosser Betriebsausgaben hohe Anlagekosten und das wirtschaftliche Ergebniss wird kein besseres.

Die von Herrn Nimax hervorgehobene Arbeit für den Transport der Salzlösung zwischen Luftkühler und Verdampfer und die hierbei entstehenden Kälteverluste kommen bei rationell konstruirten Apparaten gar nicht in Betracht, bzw. sie fallen ganz fort, da sich Refrigerator und Luftkühler recht gut zu einem einzigen Apparat vereinigen lassen. Uebrigens darf nicht übersehen werden, dass auch der Humboldt-Apparat hinsichtlich des Arbeitsverbrauches für den Lufttransport ungünstige Verhältnisse durch die zweimalige plötzliche Ablenkung des Luftstromes um 180° aufweist.

Nach dem Vorgesagten können wir nur zu dem einen Schlusse gelangen, dass bei Fleischkühlanlagen die Methode der Abkühlung der Luft an kalter Salzsoole vor der Verwendung von Röhrenapparaten, die Spezialkonstruktion des Humboldt eingeschlossen, den Vorzug verdient und dass die Praxis mit vollem Recht von erstgenannter Kühlmethode umfassenden Gebrauch macht. Wir wollen indessen gern zugeben, dass unter gewissen Verhältnissen die unmittelbare Anwendung des Verdampfers als Luftkühler angezeigt ist. Wir rechnen hierher die Fleisch- und Proviantkühlanlagen auf Schiffen, wo ein flüssiger und offen circulirender Kälte-

träger Schwierigkeiten veranlasst, und ferner kleinere, nicht ununterbrochen, also nur mit Tagbetrieb arbeitende Anlagen, bei welchen während des Betriebes die ganze Röhrenkühlfläche wirksam ist und während des Stillstandes auch ohne besondere Bedienung das Abthauen von selbst vor sich geht.

Derartige Anlagen sind auch vor und neben den Ausführungen des Humboldt von anderen Firmen hergestellt worden. So hat die auf diesem Gebiete wohlbekannte Gesellschaft für Linde's Eismaschinen sowohl eine grössere Anzahl von Passagier- und Transportdampfern, als auch mehrere Fleischkühlhäuser mit solchen Einrichtungen versehen, z. B. das Fleischkühlhaus der Blockeisfabrik in Köln und die städtischen Fleischkühlhäuser in Osnabrück, Erlangen u. a. m.

Lediglich auf dem Wege der Erfahrung ist die genannte Gesellschaft von der Röhrenkühlung zur Abkühlung durch Berührung mit kalter Salzsoole hinübergeführt worden.“

Darauf antwortet die Maschinenbauanstalt Humboldt wie folgt:

„Der von Herrn G. Osthoff, Regierungsbaumeister und Stadtbaurath a. D., in Nr. 46 der „Deutschen Bauzeitung“ vom 10. Juni 1893 veröffentlichte Artikel über „Kühlanlagen für Fleisch und andere Lebensmittel“ enthält mehrere unrichtige Angaben über die Wirkungsweise und den Effekt des Humboldt'schen Kühlsystems, die in Nachstehendem auf ihren richtigen Werth gebracht, d. h. richtiggestellt werden sollen, und zwar unter Anführung von Resultaten, welche mit ausgeführten Anlagen, System Humboldt, erzielt worden sind.

Wenn andere Konstrukteure von der Ausführung eines Röhrenkühlers abgekommen sind, so hat das eben seinen Grund darin, dass ein gewöhnlicher Röhrenkühler nur mangelhaft funktionirt, während der Humboldt'sche Röhrenkühler durch Anwendung der patentirten Umschaltvorrichtung alles leisten kann, was die besten andern Kühlapparate auch leisten und noch mehr, nämlich die Erzeugung einer ausserordentlich reinen und trockenen Luft.

Mit dem Humboldt'schen Luftkühlapparat kann erfahrungemäss eine jede gewünschte Temperatur im Kühlraum (bis 0 Grad und noch weniger) und jeder Feuchtigkeitsgrad (bis 70 Proc. der Kühlhausluft) hergestellt werden.

Sorgfältig angestellte Versuche zeigen, dass Fleisch nicht nur wochen- sondern monatelang im Kühlraum aufbewahrt werden kann, was auf eine ganz besonders reine, bakterienfreie und trockene Luft schliessen lässt, welche mit dem Humboldt'schen Luftkühler erzeugt wird.

Das Fleisch wird bei langer Aufbewahrung auf seiner Oberfläche abgetrocknet, im Innern ist dasselbe noch vollständig saftreich. Das Aussehen des Fleisches ist frisch und die Fleischqualität ganz vorzüglich.

Die trockene Oberfläche des Fleisches verhindert die Entwicklung der an dem in den Kühlraum eingebrachten, feuchten Fleisch haftenden, fäulniserregenden Keime vollständig und ermöglicht dadurch eine gute und lange Erhaltung des Fleisches.

Von besonderem Vortheile erscheint der Umstand, dass das aus dem Kühlraume an die warme feuchte Luft gebrachte trockene kalte Fleisch sich in der warmen, feuchten Luft noch lange erhält, ohne Schaden zu leiden, was auf die konservirende Wirkung der verhältnissmässig trockenen Oberfläche des Fleisches zurückzuführen ist, während dagegen nasses kaltes Fleisch, wie solches durch einen weniger guten Kühlapparat bezw. durch zu niedere Kühlhaustemperatur bedingt wird, in kurzer Zeit in der warmen feuchten Luft in Fäulniss übergeht.

Der Humboldt'sche Kühlapparat ermöglicht ein sehr schnelles Entfernen der mit dem frischgeschlachteten Fleisch in den Kühlraum eingebrachten Feuchtigkeit, so dass diese ganze Feuchtigkeit innerhalb ganz kurzer Zeit auf den Rohrschlangen des Kühlapparates als Reif niedergeschlagen und beim Abthauen der Rohrschlangen als Thauwasser aus dem Apparat abgeleitet wird, also nicht mehr in den Kühlraum gelangen kann, was für die gute Erhaltung des Fleisches von grosser Wichtigkeit ist.

Dass bei dem Humboldt'schen Luftkühler die Luft trockener (20 Proc. und mehr) den Kühlraum verlässt, als dem Sättigungsgrad ihrer Endtemperatur entspricht, bestätigen zahlreich angestellte Versuche.

Die Grössenverhältnisse des Humboldt'schen Röhrenkühlers (Verdampffläche) sind so gewählt, dass auch bei verhältnissmässig starkem Reifansatz die erforderliche Kältewirkung noch vorhanden ist.

Wie die Erfahrung lehrt, kann der Humboldt'sche Apparat auch mit höher liegenden Verdampftemperaturen (bis 10° C.) arbeiten und doch dabei die Luft bis auf mehrere Grad unter Null abkühlen, wodurch die Kompressorarbeit auf ein Minimum reducirt wird.

Durch die patentirte Umschaltvorrichtung ist man im Stande, einen gleichmässigen Kältebetrieb zu erhalten, was allerdings bei einem Röhrenkühler ohne Umschaltvorrichtung nicht möglich wäre.

Das Umschalten des Kühlapparates ist eine ausserordentlich einfache Manipulation, welche jeder auch weniger intelligente Maschinist sofort erlernt, ebenso ist der Zeitpunkt der Umschaltung ohne Weiteres an der Stärke des Reifansatzes der Rohrschlangen zu erkennen.

Beim Abthauen der Rohrschlangen des Humboldt-Apparates, welches dank der angewandten Umschaltvorrichtung sehr schnell vor sich geht, ist es unmöglich, dass die Luft die abgelagerten Unreinigkeiten und Feuchtigkeit wieder mit in den Kühlraum bringen kann, da die das erste Rohrsystem abthauende Luft noch über das mit Ammoniak in Betrieb befindliche zweite Rohrschlängensystem streicht, und sämtliche Unreinigkeit

und Feuchtigkeit an diesem zweiten Rohrsystem zurücklässt, bevor sie wieder in den Kühlraum eintritt.

Dass sich Röhrenkühler, die keine Umschaltvorrichtung besitzen, und sich entweder innerhalb oder ausserhalb des Kühlraumes befinden, zur Herstellung einer durchaus reinen und trockenen Kühlhausluft wenig eignen, hat eben seinen Grund darin, dass die über die abzuthauenden Rohrschlangen geblasene Luft direkt wieder in den Kühlraum gelangt, ohne vorher nochmals, wie beim Humboldt'schen Apparat, durch eine zweite Rohrschlange gereinigt und getrocknet worden zu sein.

Die vorzüglichen Resultate, welche bei allen ausgeführten Anlagen nach dem Humboldt'schen Kühlsystem sowohl in Bezug auf Qualität und gute Erhaltung des Fleisches, als auch auf geringe Betriebskosten erzielt worden sind, beweisen zur Genüge die Güte des Humboldt'schen Systems.“

Zusammenstellung der bei den Abnahmeversuchen mit der Kühl- und Eismaschinenanlage auf dem Städtischen Schlachthofe in Köln erzielten Resultate.

Die von der Maschinenbauanstalt Humboldt in Kalk bei Köln gelieferte; nach den neuesten Erfahrungen ausgeführte Fleischkühlanlage des neuen Schlachthofes der Stadt Köln a. Rhein wurde am 1. Juli 1895 dem Betrieb übergeben und hat sich bei dem seitherigen Betriebe, namentlich was die Herstellung einer tadellosen reinen, trockenen und kühlen Luft zwecks längerer Aufbewahrung des Fleisches anbelangt, aufs beste bewährt.

Zur Kontrolle der von der Lieferantin gegenüber der Stadt Köln eingegangenen Verpflichtungen (laut welchen die Kälteleistung unabhängig von der Bauart des Kühlhauses nachzuweisen war) wurden anfangs Oktober 1895 durch Herrn Prof. Schöttler in Braunschweig eingehende Versuche vorgenommen, deren Endergebnisse im Nachfolgenden zusammengestellt sind.

I. Versuch.

Anlage für Gross- und Kleinvieh. Normalleistung.

Circulirende Luftmenge	75 700 cbm stündlich
Stündlicher Luftwechsel	10,6 fach
Luftabkühlung im Luftkühler	9° C.
Temperatur der angesaugten Luft	+ 4,3° C.
Relativer Feuchtigkeitsgehalt	70 Procent
Feuchtigkeitsniederschlag pro cbm Luft	1,08 gr
Stündliche Kälteleistung in abgekühlter Luft	202 000 Calorien
„ „ „ getrockneter „	49 200 „
„ Bruttoeisleistung	74 800 „
„ Gesamtkälteleistung	326 000 „

Arbeitsaufwand für die Kältemaschine (Doppelkompressor) bezogen auf eine Austrittstemperatur von -3°C .	116 indic. PS.
Arbeitsaufwand für die Ventilationsmaschine	30 " "
Gesamtkraftverbrauch der Anlage	146 " "
Stündlicher Dampfverbrauch, abzüglich des Niederschlagwassers in der Dampfleitung zwischen Kessel und Maschine	1198 kg
Stündlicher Speisewasserverbrauch	1302 "
" Kohlenverbrauch (bei Anwendung reiner Kohle von 8 facher Verdampfungsfähigkeit)	163 "
Demnach betrug die Kälteleistung:	
a) für das indicirte Stundenpferd	2233 Calorien
b) für 1 kg Dampf	272 "
c) für 1 kg Speisewasser	250 "
d) für 1 kg Kohle	2000 "

II. Versuch.

Anlage für Gross- und Kleinvieh. Maximalleistung.

Circulirende Luftmenge	96 000 cbm stündlic
Stündlicher Luftwechsel	13,4 fach
Luftabkühlung im Luftkühler	$8,58^{\circ}\text{C}$.
Temperatur der angesaugten Luft	$+4,2^{\circ}\text{C}$.
Relativer Feuchtigkeitsgehalt	73 Procent
Feuchtigkeitsniederschlag pro cbm Luft	1,11 gr
Stündliche Kälteleistung in abgekühlter Luft	244 000 Calorien
" " " getrockneter Luft	63 600 "
" Bruttoeisleistung	95 100 "
" Gesamtkälteleistung	402 700 "
Arbeitsaufwand für die Kältemaschine, bezogen auf eine Austrittstemperatur von 3°C .	160 indic. PS.
Arbeitsaufwand für die Ventilationsmaschine	43 " "
Gesamtkraftverbrauch der Anlage	203 " "
Stündlicher Dampfverbrauch, abzüglich des Niederschlagwasser in der Dampfleitung zwischen Kessel und Maschine	1721 kg
Stündlicher Speiseverbrauch	1867 "
" Kohlenverbrauch (8fache Verdampfung)	233 "
Demnach betrug die Kälteleistung:	
a) für das indicirte Stundenpferd	1984 Calorien
b) für 1 kg Dampf	234 "

- c) für 1 kg Speisewasser 216 Calorien
 d) für 1 kg Kohle 1730 "

III. Versuch.

Anlage für Schweine. Normal- bzw. Maximalleistung.

irculirende Luftmenge	24700 cbm stündlich
tündlicher Luftwechsel	10 fach
uftabkühlung im Luftkühler	12,3° C.
emperatur der angesaugten Luft	+ 9,1° C.
elativer Feuchtigkeitsgehalt	64 Procent
euchtigkeitsniederschlag pro 1 cbm Luft	1,10 gr
tündliche Kälteleistung in abgekühlter Luft	88300 Calorien
" " " getrockneter Luft	16200 "
" Gesamtkälteleistung	104500 "
esamtkraftverbrauch der Anlage, bezogen auf eine Austrittstemperatur von — 3° C	48 indic. PS.
tündlicher Dampfverbrauch, abzüglich des Nieder- schlagwassers in der Dampfleitung zwischen Kessel und Maschine	533 kg
tündlicher Speisewasserverbrauch	592 "
" Kohlenverbrauch (bei 8 facher Ver- dampfung)	74 "
Demnach betrug die Kälteleistung:	
a) für das indicirte Stundenpferd	2177 Calorien
b) für 1 kg Dampf	196 "
c) für 1 kg Speisewasser	176 "
d) für 1 kg Kohle	1410 "

Zusammenstellung.

A. Gesamtanlage. Normalleistung.

tündliche Gesamtkälteleistung $326\,000 + 104\,500 =$	$430\,500$ Calorien
esamtkraftverbrauch	$146 + 48 = 194$ indic. PS.
tündlicher Gesamtdampfverbrauch $1198 + 533 =$	1731 kg
" Gesamtspeisewasserverbrauch $1302 + 592 =$	1894 "
tündlicher Gesamtkohlenverbrauch $163 + 74 =$	237 "
Demnach betrug die Kälteleistung:	
a) für das indicirte Stundenpferd	2219 Calorien
b) für 1 kg Dampf	249 "
c) für 1 kg Speisewasser	227 "
d) für 1 kg Kohle	1815 "

B. Gesamtanlage. Maximalleistung.

Stündliche Gesamtkälteleistung $402700 + 104500 = 507200$ Calorien

Gesamtkraftverbrauch $203 + 48 = 251$ indic. PS.

Stündlicher Gesamtdampfverbrauch . $1721 + 533 = 2254$ kg

„ Gesamtspeisewasserverbrauch $1867 + 592 = 2459$ „

Stündlicher Gesamtkohlenverbrauch . $233 + 74 = 307$ „

Demnach betrug die Kälteleistung:

- a) für das indicirte Stundenpferd 2020 Calorien
- b) für 1 kg Dampf 225 „
- c) für 1 kg Speisewasser 206 „
- d) für 1 kg Kohle 1650 „

Schliesslich sei noch bemerkt, dass die garantierte Gesamtkälteleistung in Calorien:

- a) bei der Normalleistung um 23 Procent,
- b) bei der Maximalleistung um 11 Procent übertroffen worden ist.

Hieran sei denn eine Aeusserung der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen geschlossen, welche den Gegenstand erschöpfen und vollständig klarlegen wird, und die um so werthvoller ist, weil diese Gesellschaft die bei Weitem grösste Erfahrung auf diesem Gebiete überhaupt besitzt.

„Es sind zwei Methoden der Fleischkonservirung durch Kälte zu unterscheiden, je nach der Temperatur, bei der diese Konservirung stattfindet. In relativ trockener Luft von 2 oder 3° über Null lässt sich Fleisch ohne Schaden zu erleiden, ohne an Geschmackswerth und an Aussehen zu verlieren, leicht 6 bis 8 Wochen aufbewahren, und diese Zeit lässt sich auf mehr als ebenso viele Monate ausdehnen, wenn das Fleisch bei Temperaturen von 5 bis 10° unter Null in gefrorenen Zustand versetzt und in diesem erhalten wird.

Für städtische Schlachthofkühlanlagen kommt ausschliesslich erstere Methode in Betracht, doch sei erwähnt, dass auch die Wichtigkeit des zweiten Konservirungsverfahrens längst erkannt ist und diese beispielsweise bei der Fleischversorgung Englands eine hervorragende Rolle spielt. Eine ganze Flotte von Schiffen, die mit Kältemaschinen ausgerüstet sind, schafft grosse Mengen gefrorenen Fleisches aus den viehreichen Ländern Südamerikas, Australiens und Neuseelands nach England. In jenen Vieh ausführenden Ländern werden in den grossen Schlächtereien der Hafplätze die Thiere — meist Hammel, dann auch Ochsen — in grossen Mengen geschlachtet, in Hälften oder Viertel zerlegt, mittels Kältemaschinen in kurzer Frist in gefrorenen Zustand versetzt, durch die Schiffe weiter transportirt und in den gewaltigen, ebenfalls mit Kältemaschinen versehenen Fleischmagazinen der betr. englischen Häfen bis zum Verbräuche gelagert. Ca. 3½ Millionen gefrorener Hammel im Gewichte von

a 2 Millionen Centner hat England auf diese Weise im Jahre 1891 exportirt, ausserdem auch Ochsenfleisch in sehr erheblichen Mengen ein-
führt, theils nur gekühlt — von Amerika her —, theils gefroren — von
Australien oder Neuseeland.

Auch auf dem Kontinente beginnt sich in neuerer Zeit die Konser-
virung von Fleisch etc. durch Gefrieren einzubürgern. Verschiedene grössere
Kühl- und Geflügelhandlungen haben sich mit Gefrieranlagen versehen, das
Kühlhaus in Hamburg hat Räume von weit über 1000 qm Grundfläche
mit Temperaturen von 5° bis 7° unter Null zur Aufbewahrung von Fischen,
Fleisch, Geflügel, Schweineleber etc. vermietet, und auch in den Märkten
der Grossstädte, wie in Dresden, sind neben den Kühlräumen be-
sondere Gefrierräume für Lebensmittel aller Art angelegt.

Ausserdem sind in London die bedeutenderen Markthallen durchweg
mit Gefrierräumen ausgerüstet, in welchen Fische und andere Seethiere,
Geflügel, Wild und sonstige Lebensmittel beliebig lange gelagert werden
können.

Die grossen Vorzüge, welche die Schlachthofkühlhäuser darbieten,
zerfallen nach zwei Richtungen hin geltend. Zunächst erleichtern sie
den Metzgern den Geschäftsbetrieb ganz ausserordentlich, indem sie ge-
ben, ganz unabhängig von Witterungsverhältnissen eine grössere Menge
Fleisch vorrätzig zu halten. Die Kalamitäten, mit welchen die Metzger
im Sommer, besonders an heissen, schwülen Tagen zu kämpfen
müssen, sind allgemein bekannt. Ein Kühlhaus beseitigt diese Unannehm-
lichkeiten vollständig, Massenschlachtungen können ohne Bedenken statt-
finden und die kostspielige tagelange Fütterung der Thiere fällt fort. Das
Kühlhaus bildet eben den Akkumulator, welcher die jeweilige
Differenz zwischen Lieferung und Verbrauch von Fleisch in
regelmässigster Weise ausgleicht.

In zweiter Linie aber hat auch das konsumirende Publikum von den
Kühlhäusern unleugbare Vortheile. In sanitärer Beziehung ist her-
vorzuheben, dass es durch ungeeignete Aufbewahrung verdorbenes, für
den Genuss nachtheiliges Fleisch nicht mehr giebt und in kulinarischer
Beziehung betonen Sachverständige, dass die Kühlung in hohem Grade ver-
bessernd auf die Qualität des Fleisches einwirke, indem letzteres in den
Kühlhäusern einen Reifungsprozess durchmache, der seine Schmackhaftig-
keit und Verdaulichkeit ganz erheblich erhöhe.

Kühlhallen für Fleischkonservirung liegen also im volks-
wirtschaftlichen Interesse und sollen keiner Schlachthofanlage
fehlen.

Das Bedürfniss hierfür wird auch von den Interessenten mehr und
mehr anerkannt. Ueber 100 Städte in Deutschland, darunter solche von
über 10000 Einwohner, sind zur Errichtung von Kühlhäusern im

Anschlüsse an die städtischen Schlachthöfe übergegangen, vielfach haben die Schlächterinnungen aus eigener Initiative den Bau und Betrieb solcher Anlagen übernommen und es liegen die Urtheile von Metzgern vor, nach welchen sie gerade durch die Kühlhäuser mit dem für sie lästigen Schlachtzwange ausgesöhnt wurden.

Wie sehr die Vortheile der Fleischkühlanlagen gewürdigt werden, findet seine Bestätigung auch in der bedeutenden Zahl grösserer Metzger, die sich für ihren eigenen Betrieb derartige Einrichtungen beschafften.

Diese Thatsache weist gleichzeitig darauf hin, dass selbst für kleine Städte jenen Anlagen in finanzieller Beziehung kein Hinderniss entgegensteht, da hier die Kosten nicht von einem Einzelnen zu tragen sind, sondern sich auf Mehrere vertheilen.

Zahlreiche Nahrungsmittel des Grosshandels unterliegen wegen ihrer Zusammensetzung einem raschen und frühzeitigen Verderben.

Die Folgen dieser leichten Zersetzlichkeit machen sich geltend:

- a) in einer Verminderung des Genusswerthes, rasch ansteigend bis zur Ungeniessbarkeit, somit in erheblichen finanziellen Verlusten für den Geschäftsmann bezw. Preissteigerung für den Konsumenten;
- b) in sanitären Nachtheilen, die entweder lokal im Darmkanal oder allgemein im Körper auftreten als Folge der Bildung und Resorption schädlicher Stoffe.

Die zweckmässigste und billigste Konservierungsmethode liegt für diese Fälle in der Anwendung der Kälte, erzeugt durch geeignete Kältemaschinen.

Die verschiedenen Arten von Lebensmitteln bedürfen verschiedener Kältegrade und Feuchtigkeitszustände der gekühlten Luft, um in praktischer Weise die Kälte Wirkung dem Grosshandel wie dem Detailbetriebe möglichst nutzbar zu machen.

Es ist allgemein üblich, Kühlhallen unter thunlichster Ausnutzung des Raumes mit verschliessbaren Zellen oder Kammern zu versehen und diese einzeln gegen einen jährlichen von der Grösse der Zelle abhängigen Miethpreis an die Metzger zu vergeben. Als untere Grösse der Zellengrösse darf eine Grundfläche von 3 qm gelten, die weitaus grösste Zahl der Zellen wird mit 4 qm ausgeführt; für Grossmetzger werden 6 qm, 8 qm und noch geräumigere Zellen angeordnet, wobei deren Höhe durchweg meist 2,5 m beträgt. Die Zellen werden lediglich mit Hakengerüsten zum Fleischaufhängen versehen und darf gerechnet werden, dass pro Quadratmeter Grundfläche bequem 4 Ctr. untergebracht werden können. Den Gängen zwischen den Zellen wird eine Breite von 1,5 bis 1,8 m gegeben, der Zugang zu den Zellen erfolgt zweckmässig durch Schiebethüren, welche beim Oeffnen die Gänge nicht verschmälern, also den Verkehr

nicht hindern. Es ist gebräuchlich, die Zellenwände in Gitterwerk oder Rundeisenstäben zu konstruieren, auf alle Fälle aber muss Sorge getragen werden, dass die Luftcirculation nicht gehemmt und die Bildung von Ecken und Winkeln, in denen die Luft stagnirt, vermieden wird. Ausserordentlich wichtig ist ferner die Rücksichtnahme auf bequemes Reinigen sowohl der Zelleneinfassungen, wie auch des Hallenfussbodens.

An einzelnen Orten befinden sich im Kühlhause auch freie nicht eingeschlossene Haken, die pro Tag vermietet werden.

Zuweilen pflegt man bei grösseren Anlagen die Kühlräume für Rinder und Schweine zu trennen, jedenfalls aber ist es empfehlenswerth, einen ganz besonderen Pökelraum anzulegen, da für letzteren eine etwas wärmere und feuchtere Luft gefordert wird.

Nicht unzweckmässig ist die Anordnung eines Vorkühlraumes, in welchem die geschlachteten Thiere in Hälften frei aufgehängt werden können.

Während kleinere Kühlhäuser meist eine einzige ebenerdige Halle erhalten, wird bei grossen Kühlhäusern die Anordnung zweier Geschosse empfehlenswerth, um Anlage- und Betriebskosten zu vermindern. Speciell die letzteren werden natürlich geringer, weil die für Kälteverluste in Betracht kommende — aus Wand-, Decken- und Bodenfläche gebildete — Oberfläche bei mehreren Etagen kleiner wird. In diesem Falle wird meist ein Kellergeschoss angelegt, es erscheint jedoch durchaus praktisch und liegt im Interesse gleich guter Zugänglichkeit beider Hallen, wenn der Fussboden der oberen Halle um eben so viel über das Hofniveau gelegt wird, wie der Fussboden der unteren Halle unter dasselbe.

Von höchster Wichtigkeit für ökonomischen Betrieb ist eine vorzügliche Isolirung des Kühlhauses zur Verminderung der Kälteverluste. Man führt deshalb die Umfassungswände ca. 1 m dick mit zwei isolirenden Luftschichten aus, ordnet Doppelthüren und Doppelfenster an, giebt den Deckengewölben eine ca. $\frac{1}{2}$ m hohe Torfmullschüttung und sichert den Fussboden durch eine isolirende Schicht von Schlackenbeton, Korksteinen oder dergl. gegen das Eindringen von Erdwärme.

Als beste Beleuchtung der Kühlhallen darf unstreitig diejenige durch Tageslicht gelten, in zweiter Linie kommt elektrische Beleuchtung in Betracht. Im ersten Fall verdienen wiederum Oberlichte den Vorzug, oder es werden Fenster in den Umfassungswänden angeordnet, wobei jedoch immer darauf Bedacht genommen werden muss, das Eindringen direkter Sonnenstrahlen zu vermeiden.

Da sich bei Schlachthöfen die Beschaffung von Dampf und Wasser für die sonstigen Schlachthofzwecke mit derjenigen für die Kühlanlage vereinigen lässt, so fallen die speciellen Betriebskosten der letzteren bei Anwendung der Linde'schen Maschinen und Einrichtungen gering aus. Ins-

besondere werden sie sehr günstig beeinflusst durch die Verwendung des Abdampfes der zum Betriebe der Kühlanlage dienenden Dampfmaschine zur Erzeugung heissen Wassers, das im Schlachthofe vielfach benöthigt wird, und der hierdurch bewirkten Ersparniss an direktem Kesseldampf für jene Heizzwecke. Ebenso resultirt aus der gemeinsamen Wartung der Kühlanlage und der sonstigen Schlachthofmaschinen eine Betriebskostensenkung. Allein selbst für den Fall, dass die Kühlanlage ganz unabhängig von dem Schlachthofe betrieben wird, ergibt bei grossen Anlagen eine Kalkulation der Betriebskosten, dass diese, repartirt auf die gekühlten Fleischmengen oder auf die benutzte Kühlhallengrundfläche nicht bedeutend ausfallen, d. h. also, dass dieselben — je nach Art ihrer Deckung — weder eine erhebliche Erhöhung der Schlachtgebühren, noch eine hohe Fleischzellenmiete bedingen.

Auch für weniger grosse, im Anschlusse an Schlachthöfe betriebene Kühlanlagen ergeben sich verhältnissmässig geringe Betriebsausgaben. Beispielsweise würde eine Stadt von 60000 Einwohner mit einer Kühlhalle von etwa 600 qm lichter Grundfläche ausreichen, wofür sich dann bei einem sechsmonatlichen Betrieb im Jahr folgende Anlage- und Betriebskosten berechnen:

A. Anlagekosten:

1. Immobilien (excl. Grunderwerb), Kühlhaus mit sämtlichen Fleischzellen, Maschinen- und Kesselhaus, Schornstein, Kesseleinmauerung, Fundationen etc.	Mk. 84000.—
2. Gesammte maschinelle Einrichtung, bestehend in Dampfkessel, Dampfmaschine, Kältemaschine, Luftkühlapparat, Pumpe, Transmission, Riemen, Rohrleitungen etc.	„ 64000.—
Gesamtanlagekapital	Mk. 148000.—

B. Betriebskosten:

1. Personal:	
1 Maschinist für das ganze Jahr }	Mk. 3060,—
2 Heizer für 6 Monate }	
2. Material:	
Kohlen, Schmier- und Dichtungsmaterial etc. für 180 Arbeitstage von je 24 Stunden	„ 6000.—
3. Amortisation und allgemeine Unterhaltung:	
8 Proc. von Mk. 64000,—	Mk. 5120,—
2 Proc. „ „ 84000,—	„ 1680,—
4. Verzinsung:	
3 1/2 Proc. vom durchschnittlichen Buchwerth ca.	„ 2600.—
	Mk. 18460,—

Für ein derartiges Kühlhaus von 600 qm Fläche, welches die Unterbringung von Fleischzellen mit einer Grundfläche von etwa 425 qm gestattet, während 175 qm auf Gänge entfallen, berechnet sich sonach der jährliche Miethpreis pro Quadratmeter Zellenfläche zu rund Mk. 43,50.

Selbst für kleinere Anlagen fallen die Betriebskosten sehr mässig aus, wie der nachstehenden Aufstellung für ein Kühlhaus von 200 qm Grundfläche im Lichten, ausreichend für eine Stadt von etwa 25000 Einwohner, zu entnehmen ist.

A. Anlagekosten:

1. Immobilien (excl. Grunderwerb),	
Kühlhaus etc. wie oben	Mk. 35000,—
2. Gesammte maschinelle Einrichtung,	
wie oben	„ 30000,—
	<u>Gesamtanlagekapital Mk. 65000,—</u>

B. Betriebskosten:

1. Personal:	
1 Maschinist für 6 Monate	Mk. 720,—
2. Material:	
Kohlen etc. wie oben	„ 2800,—
3. Amortisation und allgemeine Unterhaltung:	
8 Proc. von Mk. 30000,—	Mk. 2400,—
2 Proc. „ „ 35000,—	„ 700,—
	<u>„ 3100,—</u>
4. Verzinsung:	
3 1/2 Proc. vom durchschnittlichen Buchwerth ca.	„ 1100,—
	<u>Mk. 7720,—</u>

Von dem vorliegenden Kühlhaus, für welches ein jährlicher Betrag von Mk. 7720,— aufzubringen ist, können ca. 150 qm Grundfläche für Fleischzellen ausgenutzt werden, während ca. 50 qm auf Gänge entfallen. Es könnten somit etwa 18 Zellen von je 4 qm und 26 Zellen von je 3 qm untergebracht werden. Für jeden Quadratmeter effektiv benutzter Zellengrundfläche würden die jährlichen Kosten rund Mk. 52,— betragen.

Gegenüber den ausserordentlich grossen Vortheilen, welche den Metzgern sowohl, wie dem konsumirenden Publikum durch Kühllhäuser mit geradezu idealen Fleischaufbewahrungsräumen geboten werden, können solche Kosten nicht in Betracht kommen.

Finanziell noch günstiger gestaltet sich die Sache, wenn mit der Kühlanlage die Herstellung von Eis verbunden wird und dessen Absatz gesichert ist.

Nachstehend fügen wir die jährlichen Miethpreise, welche von den Metzgern in einigen grösseren mit Schlachthofkühlanlagen Linde'schen Systems versehenen Städten für die Fleischzellen pro Quadratmeter Grundfläche zu bezahlen sind, bei.

Es kostet ein Quadratmeter Zellengrundfläche in

Leipzig . . .	Mk. 25,—	{ Hier werden ausserdem die im Kühlhause befindlichen freien Haken pro Tag mit 25 Pfg. vermietet.
Frankfurt . . .	„ 30,—	
Nürnberg . . .	„ 25,—	
Wiesbaden . . .	„ 30,—	
Würzburg . . .	{ „ 34,— im Erdgeschoss. „ 30,— im ersten Stock.	
Passau . . .	„ 35,—	
Halberstadt . . .	„ 33,34	
Brandenburg } Kreuznach . . .	„ 36,—	

Dabei ist zu bemerken, dass in Leipzig, Frankfurt und Nürnberg die Kühlhallen während des ganzen Jahres benutzt werden.

Ein Kühlhaus erfüllt seinen Zweck nur dann vollkommen, wenn es dem Fleische die denkbar günstigsten Bedingungen für seine Aufbewahrung darbietet.

Da nun wissenschaftlich festgestellt ist, dass bei Fleisch etc. die Ursache für den Uebergang in Verwesung in den sog. Fäulnissbakterien gesucht werden muss, ist es die Aufgabe der Kühleinrichtungen, aus der Kühlhausluft die Bakterien zu beseitigen, bzw. für eine solche Luftbeschaffenheit zu sorgen, dass jene Keime die Bedingungen für ein Weitervegetiren nicht vorfinden. Es ist also nicht allein nöthig, die Luft zu kühlen, sondern auch zu reinigen und, da insbesondere ein hoher Wassergehalt der Luft günstig für die Weiterentwicklung jener Organismen sein würde, sie auch zu trocknen. Es ist deshalb die Aufgabe einer für Fleischkonservirung bestimmten Luftkühlanlage, Räume mit reiner, verhältnissmässig trockener und auf 2° bis 4° C. gekühlter Luft zu schaffen und bestehen die maschinellen Einrichtungen einer derartigen Anlage in der eigentlichen „Kältemaschine“ und dem „Luftkühlapparat“ im engeren Sinne.

Während die Kältemaschine die Kälte erzeugt, wobei das Kälte erzeugende Medium — bei den Linde'schen Maschinen das Ammoniak — in geschlossenen Röhrensystemen, dem Verdampfer, verdampft, ist es die specielle Aufgabe des Luftkühlapparates, die Kälte von dem Kältemedium, bzw. dem Verdampfer an die Kühlhausluft zu übertragen und diese gleichzeitig zu trocknen und zu reinigen.

Principiell erfolgt die Lösung der letztbezeichneten Aufgabe stets dadurch, dass Ventilatoren oder Exhaustoren die Luft an verschiedenen Stellen des Kühlhauses absaugen, sie in den Luftkühlapparaten mit grossen, durch die Kältemaschine auf niedriger

Temperatur (5 bis 15° unter dem Gefrierpunkt) gehaltenen Flächen in Berührung bringen und sie alsdann dem Kühlhause an anderen Stellen vertheilt wieder zuführen.

Luftkühlapparate und deren Wirkungsweise.

Den zweiten Haupttheil einer Fleischkühlanlage bildet der eigentliche Luftkühlapparat, dessen specielle Aufgabe bereits präcisirt wurde. In demselben wird die Kühlhausluft mit grossen, von der Maschine gekühlten Flächen in Berührung gebracht. Je nach der Natur derselben, ihrer Form, Anordnung u. s. w. ergeben sich verschiedene Systeme und Konstruktionen von Luftkühlapparaten. Zwei Typen haben sich für die Praxis von Bedeutung erwiesen. Es kann der „Verdampfer“ der Kältemaschine unmittelbar als Luftkühler dienen, wobei die Rohrsysteme, in denen die Verflüchtigung des Kältemediums vor sich geht, von der abzukühlenden Luft umspült werden, oder aber der „Verdampfer“ dient zunächst als Salzwasserkühler und die Luft tritt alsdann in direkte Berührung mit der kalten Salzsoole.

Dass mit derartigen Einrichtungen die Lösung der oben präcisirten Aufgabe principiell durchführbar ist, ergibt eine Betrachtung der bei dem vorliegenden Prozess stattfindenden Vorgänge.

Hinsichtlich Abkühlung der Luft bedarf die Wirkungsweise dieser kalten Flächen einer näheren Erklärung nicht. Von der wärmeren Luft findet naturgemäss ein Wärmeübergang zum kälteren Körper statt, wobei die in gewisser Zeit abgegebene Wärmemenge im Wesentlichen von der Grösse der Kühlflächen und der Temperaturdifferenz zwischen diesen und der Luft abhängt.

Die Trocknung der Luft ist eine nothwendige Folge ihrer Abkühlung, da die Luft um so weniger Wasserdampf zu enthalten vermag, je niedriger ihre Temperatur ist, da somit eine Kondensation des Wasserdampfes um so mehr eintritt, je tiefer die Luft abgekühlt wird. Diese Kondensation findet an den kalten Flächen statt. Sind letztere metallisch, so beschlagen sie sich mit Schnee, werden sie durch Salzlösung gebildet, so nimmt diese die Feuchtigkeit in tropfbar flüssiger Form auf.

Die Reinigung der Luft ist eine indirekte, durch die Kühlung und ausserdem bei unmittelbarer Berührung zwischen Luft und Salzsoole eine direkte durch Waschung. Den ersteren Prozess hat man sich wie folgt zu denken. Nachweisbar findet bei der Verdichtung der Wasserdämpfe in der Luft zu tropfbar flüssiger Form die Bildung der Wassertheilchen zunächst an den mechanisch mitgeführten Körperchen, seien sie nun organischer oder anorganischer Natur, statt und mit diesen Wasserpartikeln gelangen diese Verunreinigungen an die Kühlflächen, werden sonach der Luft entzogen.

Sind aber die Kühlflächen durch eine Flüssigkeit — Salzsoole — gebildet, so werden die Verunreinigungen ausserdem durch die blosse Adhäsion festgehalten, die Luft wird gewaschen. Dieser Umstand bildet einen unleugbaren Vorzug der Kühlmethode mit unmittelbarer Berührung zwischen Luft und Salzsoole.

Nach den Untersuchungen des Physiologen Dr. Hansen im Karlsberger Laboratorium zu Kopenhagen wird thatsächlich durch analoge Apparate eine praktisch vollkommene Reinigung der Luft von Bakterien und Staubtheilen erzielt.

Eine Schattenseite dieses Kühlsystems ist die durch ständige Verdünnung der Salzsoole gegebene Nothwendigkeit ihrer Wiederkonzentration, sei es, dass diese durch Zusatz frischen Salzes oder Eindampfen der verdünnten Lösung erfolgt.

Aus dem Vorgesagten ist schon zu erkennen, dass die Kühlhaltung eines Fleischaufbewahrungsraumes mittels Eis niemals vollkommen genügen, sondern nur als Nothbehelf gelten kann. Wäre es die Lufttemperatur in dem Kühlraum allein, welche in Frage kommt, so liesse sich der Zweck mit Eis ebenfalls erreichen, allein da eine verhältnissmässig trockene und reine Luft Bedingung ist und diese Bedingung nur durch Abkühlung der Luft einige Grade unter Null erfüllt werden kann, ist die Unzulänglichkeit der Eiskühlung ohne Weiteres einzusehen. Während bei maschineller Kühlung die Luft stets aufnahmefähig für Feuchtigkeit bleibt, Boden, Decken und Wände etc., wie auch das Fleisch selbst stets eine trockene Oberfläche beibehalten und hierdurch die Unmöglichkeit einer Ansiedelung von Fäulniskeimen vorliegt, herrscht in den mit Eis gekühlten Räumen eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, und die von frisch eingebrachtem Fleisch herrührende Feuchtigkeit schlägt sich an den kalten Wänden und Decken — insbesondere an denen, die an den Eisraum grenzen —, wie auch zeitweise an dem schon gekühlten Fleische nieder und schafft so einen die Wucherung der Fäulnisbakterien begünstigenden Boden.

Thatsächlich haben sich auch in der Praxis Eiskühlhäuser für Fleischkonservirung nicht bewährt, insoweit jenen höheren Anforderungen Rechnung getragen wird.

Müssen die Luftkühlapparate in erster Linie ihren Zweck der Abkühlung der durchströmenden Luft auf -3° bis -5° C. erfüllen, so hängt doch ihre Brauchbarkeit ganz wesentlich von ihrer Betriebsökonomie ab. Zur Erzielung der letzteren verlangen folgende Punkte Berücksichtigung:

- a) Jede Kältemaschine arbeitet um so ungünstiger, d. h. erzeugt für gleiche Arbeitsleistung um so weniger Kälte, eine je niedrigere Temperatur das verdampfende Medium — in Linde'schen Maschinen das Ammoniak — besitzt. Eine je geringere Temperaturdifferenz

zwischen Luft und Ammoniak die Luftkühlapparate zulassen, desto günstiger, weil billiger, wird gearbeitet. Vortheilhaft konstruirte Apparate zeigen eine Temperatur der flüchtigen Flüssigkeit im Verdampfer von -10° bis -12° C., hingegen sind Apparate, welche mit Temperaturen von -20° C. arbeiten müssen, ganz unzweckmässig, weil dieselben für gleiche Kälteleistung eine um etwa 50 Proc. höhere Betriebskraft für die Kältemaschine verlangen als die ersteren.

- b) Die Luftmengen, welche zwischen dem Kühlhause und dem Luftkühlapparate circuliren müssen, sind sehr bedeutende und betragen stündlich etwa das Zehnfache des Volumens des gekühlten Raumes. Der Betrieb des Ventilators für diesen Lufttransport erfordert Arbeit; einem physikalischen Grundgesetze zufolge wird aber diese Arbeit in Wärme umgesetzt und an die kalte Luft übertragen. Daraus resultirt, dass der Ventilatorbetrieb einen doppelten Verlust — Arbeitsaufwand und Kälteverlust —, wovon letzterer wieder durch erhöhten Arbeitsaufwand gedeckt wird, nach sich zieht.

Eine rationelle Konstruktion der Luftkühlapparate muss demnach das Princip verfolgen, durch vortheilhafte Form und Anordnung der Kühlflächen, durch Vermeidung von Richtungsänderungen und Reibungswiderständen bei der Luftbewegung die Ventilatorarbeit auf ein Minimum zu beschränken.

Die vorstehend charakterisirten Principien sucht Linde in den beiden nachfolgend beschriebenen Konstruktionen zu realisiren.

Bemerkenswerth einfach gestalten sich Luftkühlanlagen, wenn der Verdampfer der Kältemaschine, ein schmiedeeisernes Röhrensystem, in dem die Kälteflüssigkeit, das Ammoniak, unter Wärmeaufnahme zur Verdampfung gelangt, direkt als Luftkühler benutzt wird. Der Fortfall einer Salzlösung, die erst die Kälteübertragung zwischen Ammoniak und Luft zu vermitteln und die Abwesenheit jeder Pumpe, welche die Circulation der Salzlösung zu bewerkstelligen hätte, ist unleugbar ein Vorzug dieses Systems.

Die Ammoniakverdampfungsspiralen befinden sich in einem Kanal eingeschlossen, der in dem Kühlraum, neben oder über demselben angeordnet ist und durch welchen die Kühlhausluft mittels Ventilator befördert wird. An den kalten Rohrwandungen erfolgt in bereits geschilderter Weise die Abkühlung, Entfeuchtung und Reinigung der Luft, wobei sich die Rohroberflächen mit einer Schneeschichte überziehen, ein Umstand, welcher allerdings als ein Nachtheil des Systems bezeichnet werden muss.

Da dieser Schneebelag mit zunehmender Stärke den Wärmeaustausch an den Rohrwandungen mehr und mehr beeinträchtigen würde, so ist seine Entfernung von höchster Wichtigkeit, wofür sich als einfachstes

Mittel das Abthauen darbietet. Um die Funktion des Apparates in keiner Weise zu stören, wird nicht das gesammte Röhrensystem auf einmal abgethaut, sondern partienweise, was keiner Schwierigkeit unterliegt, da es aus einzelnen Rohrspiralen besteht, von denen jede für sich ausser Betrieb gesetzt werden kann. Die zum Abthauen erforderliche Wärme liefert in der Regel die Kühlhausluft selbst, event. auch die Aussenluft, indessen leiden diese Verfahren an einer gewissen Umständlichkeit und wirken verhältnissmässig langsam. Sicher und schnell hingegen lässt den Zweck das Linde mit D. R.-P. Nr. 50101 patentirte Verfahren erreichen, nach welchem die Wärmezufuhr nicht von aussen, sondern von innen erfolgt, indem die in der Maschine circulirenden, komprimirten, warmen Ammoniakdämpfe durch die jeweilig ausgeschaltete Spirale des Luftkühlers geleitet werden, sich kondensiren und hierbei ihre latente Wärme zum Schmelzen des Schneebeleges abgeben.

Es ist hieraus ersichtlich, dass Röhrenapparate stets eine gewisse, wenn auch einfache Bedienung erfordern, indem der Maschinenwärter in gewissen Zeitabschnitten für Entfernung des Schneebeleges sorgen muss.

Die vorstehend beschriebene Einrichtung wird von Linde für Kühlanlagen auf Schiffen in der Regel angewendet.

Ausserdem werden sie für eine Reihe mittelgrosser Schlachthofkühlanlagen ausgeführt, von denen hier diejenigen zu Stassfurt, Bromberg, Celle, Minden, Erlangen und Kaiserslautern genannt seien. Es ist jedoch dies System, obwohl für dasselbe von anderer Seite mit ausserordentlicher Wärme Propaganda zu machen gesucht wird, für grosse Kühlanlagen nicht in dem Maasse geeignet, als dass es zur Ausführung zu empfehlen sei, vielmehr verdienen die nachstehend besprochenen Einrichtungen ihrer einfacheren Wartung und besseren Wirkung halber den Vorzug.

Bei allen Apparaten dieser Gattung wird die abzukühlende Luft durch einen Ventilator über grosse, von der kalten Salzsoole berieselte oder benetzte Flächen hinweggetrieben oder durch einen Salzwasserregen geblasen.

Die Gesellschaft für Linde's Eismaschinen hat diese Aufgabe durch eine Konstruktion mit rotirenden Scheibensystemen nach D. R.-P. Nr. 26623 gelöst, welche es gestattet, fast beliebig grosse Salzwasserflächen unter verhältnissmässig kleiner Raumbeanspruchung und mit geringem Arbeitsaufwande in innigste Berührung mit der Luft zu bringen.

Auf horizontalen, parallel hinter einander liegenden Achsen sitzen je eine Reihe runder Blechscheiben derart, dass sie von einander einige Centimeter entfernt sind und auf ihrer unteren Seite in einen mit der kalten Salzlösung gefüllten Behälter eintauchen. Langsam rotirend bedecken sich die Blechscheiben mit einer dünnen Salzlösungsschicht und bilden

gewissermaassen eine Reihe neben einander liegender schmaler Kanäle, durch welche die Luft hindurchgeblasen wird, wobei in bekannter Weise sich der Kühlprozess vollzieht.

Maschinen- und Kesselhaus.

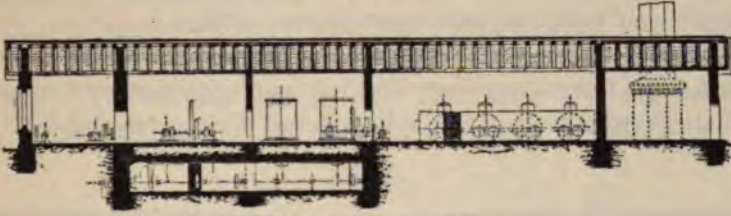


Fig. 408. Längsschnitt.

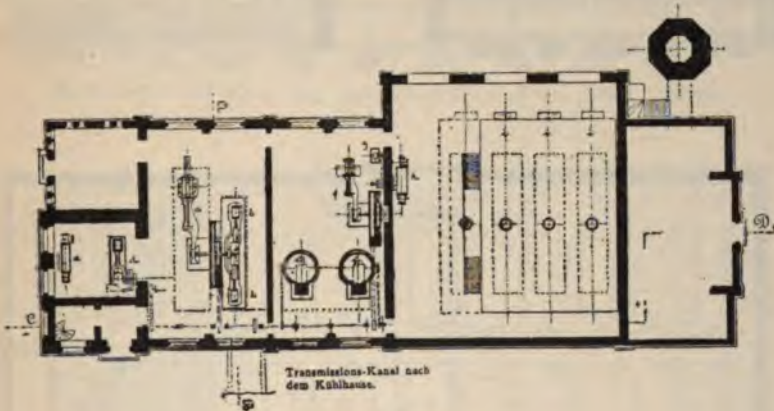


Fig. 409. Grundriss.

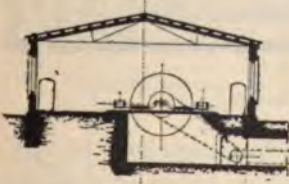


Fig. 410. Querschnitt A—B.

- a. Dampfmaschine für den Betrieb der Kälteanlage.
- b. Ammoniak-Kompressoren.
- c. Ammoniak-Kondensatoren.
- d. Kühlwasserpumpe.
- e. Dampfpumpe für den Wasserbedarf des Schlachthofes.
- f. Dampfpumpe für den Betrieb der Beleuchtungsanlage.
- g. Dynamomaschine.
- h. Kesselspeisepumpe.
- i. Dampfkessel.

In der Regel vereinigt sie den Salzwasser- und Luftkühler, indem der Verdampfer unter die Scheibensysteme gelegt und eine besondere Salzwasser-Circulationspumpe hierdurch erspart wird.

Den Lufttransport vermitteln Schraubenventilatoren, welche grosse Luftmengen mit geringem Arbeitsaufwand bewältigen, deren Anwendung jedoch nur durch die besondere, auf Vermeidung von Luftwiderständen gerichtete Konstruktion der Apparate ermöglicht ist.

Von den weiter oben bezeichneten Anlagen arbeiten diejenigen zu Nürnberg, Würzburg, Frankfurt a. O., Rostock, Halberstadt, Landsberg a. d. Warthe, Rheydt, Schweidnitz, Tilsit, Eisleben, Neisse, Eisenach, Naumburg, Stendal, Kreuznach, Passau, St. Johann, Schneidemühl, Grossenhain, Cleve und Tarnowitz mit den vorstehend besprochenen „Rotirenden Apparaten“ und durchweg mit vorzüglichem Erfolge.

Eine zweite Lösung der bezeichneten Aufgabe stellen die Linde'schen Verdampfer mit Berieselung dar. Die Verdampferspiralen sind reihenweise in parallelen Vertikalebeneu oder cylindrischen Wicklungen angelegt. Ueber

Kühlhaus.



Fig. 411. Schnitt G-H.

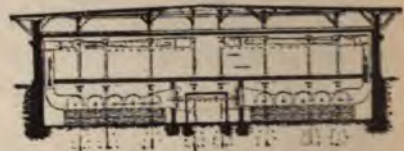


Fig. 412. Schnitt I-K.

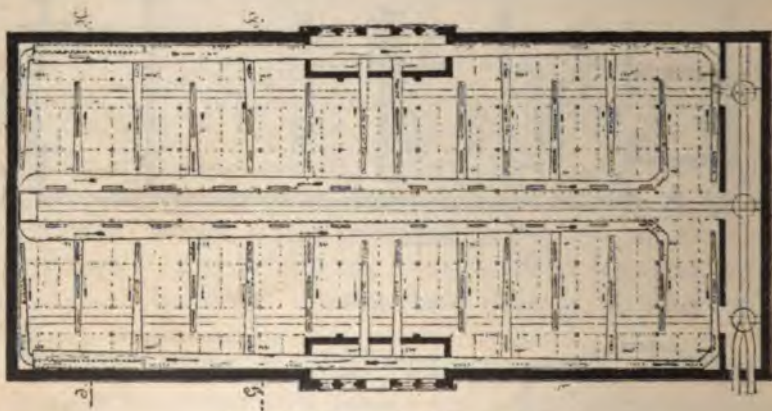


Fig. 413. Grundriss des Erdgeschosses.

jedem Spiralsystem liegt eine horizontale Vertheilungsrinne für die Salzsoole. Letztere tritt gleichmässig auf die ganze Länge der Rinne aus, fliesst auf die oberste Spiralenwindung und rieselt dann an den übrigen Windungen herab, wobei sie die ganze Spiralenoberfläche mit einer dünnen Schicht bedeckt. Unten sammelt sie sich, um mittels Pumpe wieder in die Vertheilungsrinnen befördert zu werden. Zwischen den so berieselten Spiralen wird die Kühlhausluft hindurchgeblasen.

Auch hier ist der Verdampfer direkt als Luftkühler benutzt, der früher gerügte Uebelstand des Beschlagens mit Schnee ist jedoch durch die Berieselung mit Salzsoole gehoben. Die Kälteübertragung ist sonach eine möglichst unmittelbare und fortdauernd gleichmässige.

Mit der gleichen Einrichtung sind die Anlagen zu Magdeburg, Chemnitz, Darmstadt, Harburg, Dessau und Guben ausgestattet.

Fassen wir die Vorzüge dieser Luftkühlmethode vor der Röhrenkühlung und der Apparatenkonstruktion vor ähnlichen Einrichtungen zusammen, so sind es folgende:

Die Methode sichert grösste Luftreinheit, weil die Luft auch gewaschen wird.

Eine Verschlechterung der Kühlflächen, wie sie durch Schneebeschlag an Röhren stattfindet, ist unmöglich.



Fig. 414. Schnitt *E—F*.

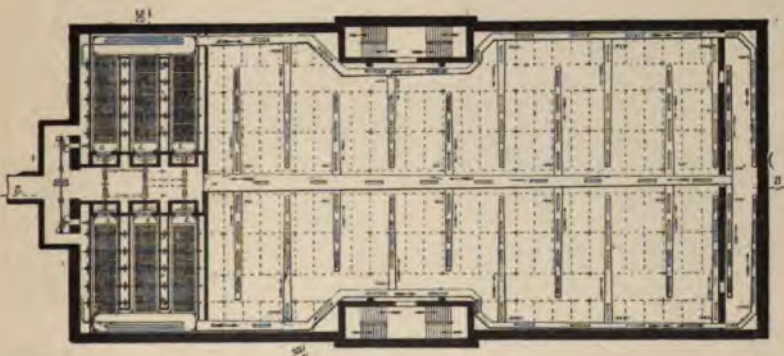


Fig. 415. Grundriss des Kellergeschosses.

l. Luftkühlapparate. *m.* Kanäle für Zuführung der gekühlten Luft in die Hallen.
n. Kanäle für Abführung der erwärmten Luft aus den Hallen.

Eine Bedienung, wie sie Rohrapparate zum Abthauen bedürftigen, wird nicht erforderlich.

Die Kühlmaschine arbeitet günstiger, weil die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Ammoniak am geringsten gehalten werden kann.

In den Apparaten findet die Luft die minimalsten Widerstände vor, weil sie nicht gezwungen wird, fortwährend oder wiederholt die Richtung zu wechseln. Ventilatorarbeit und hieraus resultirender Kälteverlust werden sonach ein Minimum.

Durch Vereinigung des Salzwasser- und Luftkühlers zu einem einzigen Apparat findet eine möglichst direkte, Arbeit

und Kälte sparende Uebertragung der Kälte von dem Ammoniak an die Luft statt.

Das Streben nach einer noch einfacheren Gestaltung der Luftkühl-einrichtungen und Erhaltung der sämtlichen vorgenannten Vorzüge hat neuerdings zur Konstruktion von Regenapparaten geführt, mittels welcher ein einige Meter hoch herabfallender intensiver Regen der kalten Salz-lösung hergestellt wird, während die abzukühlende Luft durch denselben strömen muss. Dass ein solcher Regen auf die Luft sehr energisch wirkt,



Fig. 416.

dass insbesondere der Reinigungsprozess ein sehr vollkommener ist, bedarf keines Beweises. Diese Regenapparate fallen in der Anlage etwas billiger aus, als die rotirenden Scheiben; im Betriebe erfordern sie, weil die herabfallende Lösung immer wieder hoch gefördert werden muss, einen geringen Mehraufwand an Arbeit, dessen Kosten indessen durch die grösseren Kosten für Amortisation der rotirenden Apparate kompensirt werden, so dass beide Einrichtungen in dieser Beziehung als gleichwerthige gelten können. Auf dem Schlachthofe zu Frankfurt a. M. ist bereits der eine Kühlkeller mit einem Regenapparat versehen worden, der sich vorzüglich bewährt. Ebenso sind für die Anlagen der Städte Hamburg, Barmen, Zeitz und Neu-Ruppin Regenapparate ausgeführt.

Alle Linde'schen Luftkühlanlagen werden für Zuführung frischer Luft aus der freien Atmosphäre zum Kühlhause nach vorhergegangener Kühlung eingerichtet, wobei die einströmende Quantität nach Bedarf regulirt werden kann.“

Eine Anlage grösseren Umfanges ist diejenige für den

25. Schlachthof zu Magdeburg.

ieselbe findet sich in den Fig. 403 bis 415 dargestellt und bedürfen die Zeichnungen wohl einer näheren Erläuterung nicht.



Fig. 417.

Die hier vorstehend beschriebene Form von Salzwasser-Luftkühlern, nämlich von im Salzwasser theilweise eintauchenden und sich um ihre Achse drehenden Scheiben, werden auch sonst überall dort, wo es darauf ankommt feuchte Luft in die Kühlräume einzuführen, wie z. B. in Malzmalereien, angewandt. Ein Osenbrück'scher Luftkühlapparat ist erwähnenswerth, bei dem der grössere Theil des kalten Salzwassers durch die Scheiben fliesst, während ein anderer Theil über sie hinwegrieselt. Der zu kühlende Luftstrom wird mittels eines Ventilators durch das rieselnde Salzwasser hindurchgeführt.

In England und Amerika steht man auf einem anderen Standpunkte, und hat offenbar die Verhältnisse nicht so klar erkannt, wie in Deutsch-

land. Man konservirt das Fleisch durch Abkühlung bis weit unter den Gefrierpunkt, bis -15° und sogar noch mehr. Das Fleisch gefriert natürlich auf diese Weise vollständig bis in den innersten Kern. Durch das Gefrieren werden die Gefässwände des Fleisches gesprengt und dasselbe für die Zerstörung vorbereitet. Sobald nun das gefrorene Fleisch aus dem Gefrierhause entnommen und an die Luft gebracht wird, so thaut es auf und verdirbt, befördert durch die anwesende Feuchtigkeit, sehr schnell bis ins Innere. Wenn es sich um Export von Fleisch in Schiffsladungen handelt, so wird dieser Weg des Gefrierens im Allgemeinen gewählt. In Australien oder Amerika wird es in gefrorenem Zustande in die mit Gefriermaschinen und Gefrierräumen versehenen Dampfschiffe eingeladen und am Hafenplatz wiederum in Gefrierhäuser direkt gestapelt. In London wird das Fleisch direkt von dort an den Märkten verkauft. Die Anordnung der Ammoniakrohrsysteme, in welchen das Ammoniak direkt verdampft, ist aus den Fig. 416 und 417 zu erkennen. In dieser Weise sind die grossen Schlachthäuser in Chicago meistentheils eingerichtet.

Die Fig. 418 veranschaulicht die Kühlung eines Laderaumes auf einem Frachtdampfer mittels einer Bell-Coleman'schen Kaltluftmaschine, und die Fig. 419 zeigt eine Einrichtung zur Kühlung der Provianträume von Passagierdampfern, ebenfalls mittels einer Bell-Coleman'schen Kaltluftmaschine. Beide Zeichnungen erklären sich nach dem Vorhergegangenen und mit Hülfe der in den Zeichnungen befindlichen Bemerkungen von selbst.

Bis vor kurzem waren derartige Anlagen auf den Schiffen zum Transport frischen Fleisches stets von England aus gemacht worden, wo die Fabrikation von Kaltluftmaschinen lebhaft betrieben wird. Daher fand man auch bis jetzt nur derartige Anlagen für den bezeichneten Zweck angewendet, obwohl Ammoniak-Kompressionsmaschinen bei weitem günstiger arbeiten. Ich komme darauf noch zurück.

Lightfoot, der mehrfach solche Anlagen ausgeführt hat, bemerkt, dass in den Schiffsräumen die Luft bei $+2^{\circ}$ bis 4° C. nicht über 50 bis 60 Proc. des Sättigungsgrades an Feuchtigkeit besitze, wodurch sich die lange Erhaltung des Fleisches erkläre, das weder zu feucht, wie in Eiskellern, noch zu trocken gehalten werde. Dennoch giebt L. an, dass bei langen Reisen von Australien her es nothwendig sei, das Fleisch zum Gefrieren zu bringen, um es in einer Temperatur von -4° bis -7° C. zu erhalten. Es komme vor allen Dingen darauf an, solche Schiffsräume gegen Erwärmung von aussen zu schützen und man müsse deshalb Fussboden, Decke und Wände herstellen aus einer inneren und einer äusseren gut gespunneten Holzwand von je 4 cm Stärke mit einem 20 bis 25 cm starken

Zwischenraum, der mit Torfgrus und Sägespänen oder mit Schlackenwolle, neuerdings Holzkohlenspänen, angefüllt wird. Gute derartige Isolirung sei sehr nothwendig, was klar werde, wenn man sich vergegen-

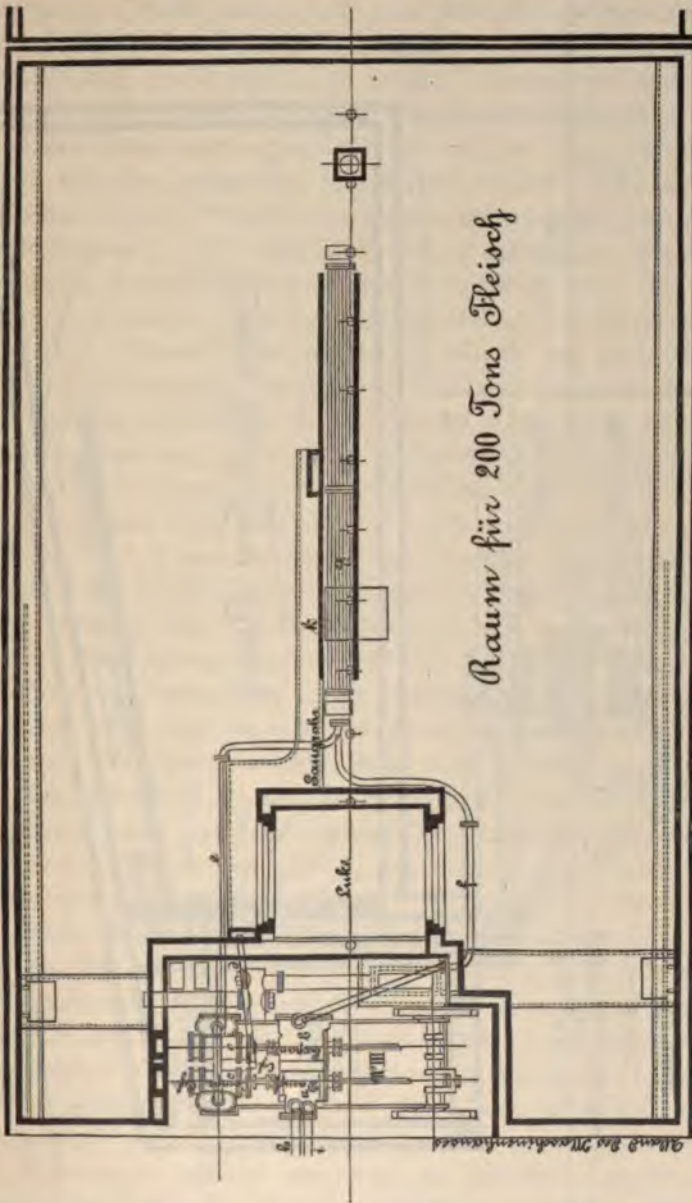


Fig. 41S.

wärtige, dass der Zweck der Maschine, sobald die niedere Temperatur erst einmal erzeugt ist, nur der ist, die von aussen eintretende Wärme zu neutralisiren, so dass also eine gute Isolirung gegen Wärme von aussen

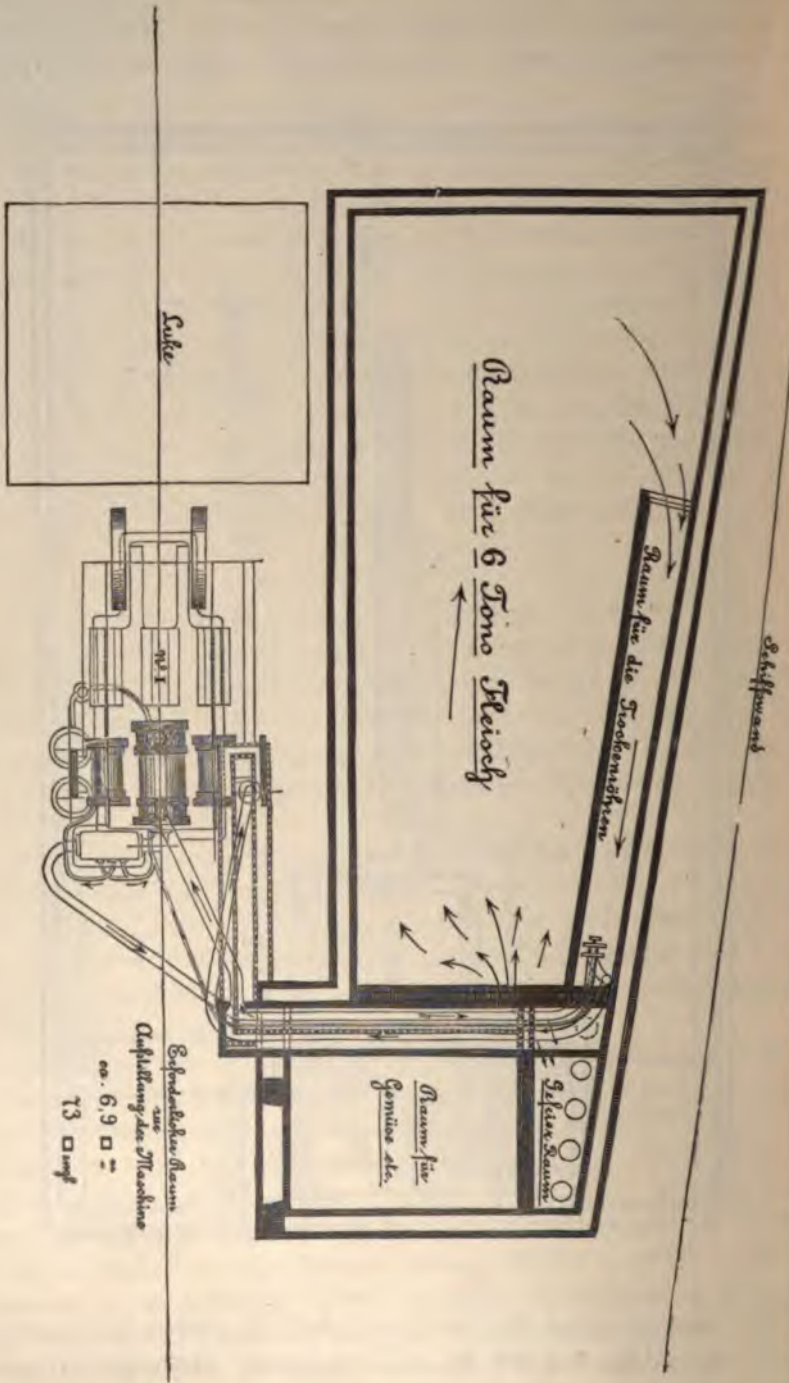


Fig. 110.

gleichbedeutend mit Kohlenersparniss sei. Die kalte Luft tritt nahe der Decke ein und wird unten nach dem Kompressor abgesaugt, wobei nur so viel frische Luft von aussen zugeführt wird, wie durch Undichtigkeiten verloren geht. Wenn das Fleisch zum Gefrieren gebracht werden soll, so ist es wünschenswerth, eine Temperatur von etwa -12° C. im Raume herzustellen und das Fleisch so zu hängen, dass es von der kalten Luft frei umspült wird. Sobald das Ausfrieren einmal beendet ist, was übrigens meist an der Küste bereits geschieht, so wird im Gegentheil das Fleisch dicht auf einander gelegt und nur darauf gehalten, dass ein Zwischenraum bleibe zwischen Wänden und Decken etc. einerseits und der Fleischladung andererseits. Bei solchem Verfahren genüge es, wenn die Temperatur wenig unter dem Gefrierpunkt gehalten werde. Die Grösse der Maschine ist natürlich abhängig von der Grösse des Raumes, der Konstruktion und Wärmeleitungsfähigkeit der Wände etc. und der Differenz der inneren und äusseren Temperatur. In London existiren grosse Lager Räume für gefrorenes Fleisch, die in gleicher Weise durch Kältemaschinen kühl gehalten werden, und die zur Aufbewahrung von Fisch, Wild, Geflügel, Butter etc. ebenso wie von gefrorenem Fleisch dienen.

An Bord des Dampfschiffes Yon-Yaags wurde eine solche Maschine installiert für den doppelten Zweck der Kühlung frischen Fleisches und der Beschaffung frischer kühler Luft für die Ventilation in Räumen, in welchen lebendes Vieh von Nordost-Queensland nach den Märkten von Sidney und Melbourne gebracht wurde. In der ganzen Schiffslänge waren zwei Röhren mit Oeffnungen gelegt, deren eine zum Einblasen der gekühlten Luft und deren andere zum Absaugen der erwärmten schlechten Luft diente. Die Maschine blies direkt in die Fleischräume, von wo die Luft in die Viehräume eintrat, deren Temperatur auf etwa $+20^{\circ}$ C. gehalten wurde, selbst zu Zeiten grösster Hitze, während welcher andernfalls die Temperatur bis 38° und 40° C. angestiegen sein würde. Das Schiff beförderte etwa 240 Stück Vieh ohne Verlust, und war der Zustand desselben bei der Ankuft eben so gut, wie bei der Abfahrt.

Diese Mittheilungen entsprechen nicht ganz den Erfahrungen, die bei uns gemacht worden sind, indem wir stets finden werden, dass gefrorenes Fleisch nach dem Aufthauen etwas an Ansehen verliert und etwas schneller verdirbt. Wir finden auch hier, dass die Einführung gekühlter trockener Luft, wie wir sie in den Kompressionsmaschinen in Deutschland erzeugen, das Fleisch vollkommen gut konservirt. Dieselben Erfahrungen scheint man auch in Amerika gemacht zu haben, wo im Allgemeinen das Fleisch gleichfalls nicht zum Gefrieren gebracht wird.

Die Kostenfrage hatte bislang noch immer verhindert, dass der überseeische Fleischhandel einen grossen Umfang angenommen hat. Man klagte

in England, dass die Frachten zu hoch sind, die etwa von Australien her 40 Pfennige pro Kilogramm betragen; dazu 20 Pfennige für Brennmaterial und 20 Pfennige für andere Kosten nebst den Frachtkosten für die Kühlmaschine. Das Fleisch in Australien kostet etwa 20 bis 40 Pfennige pro Kilogramm, so dass im Ganzen 100 bis 120 Pfennige Kosten pro Kilogramm herauskam, während es in England nicht höher als mit 105 bis 120 Pfennige pro Kilogramm ($5\frac{1}{4}$ d bis 6 d pro engl. Pfund) bezahlt wird. So lange sich also die Kosten nicht reduciren liessen, war an eine umfangreiche Versorgung Europas mit australischem Fleisch nicht zu denken. Das lag aber in der zu hohen Fracht für das Fleisch sowohl, wie für die Maschine, sowie in den Kosten für Brennmaterial. Letztere beiden Kosten werden aber bei Ammoniak-Kompressionsmaschinen wesentlich geringer wegen des geringeren Gewichts und geringerer Raumbeanspruchung, sowie wegen wesentlich geringeren Kraftgebrauchs bei gleicher Leistung. In den letzten Jahren sind Ammoniak- und Kohlensäure-Kompressionsmaschinen in grossen Mengen bereits für überseeischen Fleischtransport und für Konservirung von Provisionen auf Schiffen gebaut worden. Wegen der Konstruktionen verweise ich auf die Seiten 190—192 und 261—263. Solche Einrichtungen auf Schiffen existiren bereits in mehreren Hundert, auch in grösstem Maassstabe. Auch hier stehen die Lindeschen Einrichtungen obenan. Die Kohlensäuremaschinen lassen bei den warmen Kühlwassertemperaturen unter den Tropen in ihrer Leistung sehr nach, weil die dortigen Wassertemperaturen von 27° schon zu nahe dem kritischen Punkte der Kohlensäure liegen. Dagegen zeigt die nachfolgende Tabelle einer Linde'schen Ammoniak-Kompressionsmaschine, welche auf dem Dampfer Mark des Norddeutschen Lloyd in Bremen auf einer Fahrt nach Montevideo aufgenommen wurde, den Vorzug dieser Maschinen recht deutlich.

Die Einfuhr australischen Fleisches in England hat ganz ausserordentlich zugenommen, und zwar ist dieses Geschäft hauptsächlich auch von Neu-Seeland aus betrieben worden. Im Jahre 1891 sind von Neu-Seeland aus 1896706 Stück Hammel, von Australien 334693 Stück exportirt worden, im Jahre 1893 bereits aus beiden Ländern 2514541 Hammel und 171640 Rinderviertel. Rinder kommen hauptsächlich von Queensland, wo dieser Export in beständigem Zunehmen begriffen ist. Auch von den La Plata-Staaten in Südamerika sind im Jahre 1893 bereits 1373723 gefrorene Hammel nach England eingeführt worden. Es soll jetzt schon der vierte Theil des ganzen Hammelkonsums in England von Australien und Neu-Seeland aus gedeckt werden. Dort existiren jetzt über 20 Gefrieranstalten mit einer Produktion von jährlich 4 Millionen gefrorener Hammel. Es sind Dampfer im Gange mit einem Gehalte von 25000,

Kühlung in Schlachthäusern.

vom Norddeutschen Lloyd in Bremen.

Ort	Datum	Fleisch-		Butter-		Eis-		Aussenluft	Eiswasser-Eingang	Condensator-		Arbeitszeit der Maschine	Bemerkungen
		Grnd	Grad	Grnd	Grad	Grnd	Grad			Atmosph.	Drücke		
Vigo	22. Jan. 1894	+	1	3,5	0	14	15	7,6	1,4	7	7	Temperaturen sind Morgens genommen, Drücke Aussonluft und Seewasser Mittags. Die richtigen Temperaturen vom Seewasser-Ausgang event. Menge können nur in einem Hafen genommen werden, nach oberflächlicher Messung ist die Temperatur um 2° höher. Am 1. Februar wurde der Eisraum aufgeschlossen, das eingelegte Eis befand sich im gleichen Zustande wie in Nordenham bei der Abfahrt. In der angegebenen Arbeitszeit ist die Kühlung vom Eisraum inbe-griffen. Seewasser-Ausgang 22,3°.	
Spanische See .	23. "		1,2	3	0	14,7	15,8	7,9	1,4	6 1/2	6 1/2		
"	24. "		1	3,5	0	15,3	16,5	8	1,5	7	7		
"	25. "		1	2,7	0	18	18	8,3	1,5	8	8		
"	26. "		1,5	3,5	0	20	19	8,7	1,7	7	7		
Atlant. Ocean .	27. "		1,3	4	0	20,4	20	9	1,7	8	8		
"	28. "		1	4,2	0	21,2	21	9,3	1,6	9 1/2	9 1/2		
"	29. "		1	4,2	0	22,5	22	9,5	1,7	10 1/2	10 1/2		
"	30. "		0,9	4	0	24	24	9,9	1,7	13 1/2	13 1/2		
"	31. "		1	4,2	0	26	26	10,7	1,6	15	15		
"	1. Febr. "		1	4	0	27,6	27	11	1,7	13	13		
"	2. "		1	4,9	0	28	27	11,2	1,6	16	16		
Unter dem Aequator	3. "		1,4	4,7	0	29	27	11,3	1,7	17	17		
"	4. "		0,5	5	0	30	27	11,2	1,8	16	16		
Atlant. Ocean .	5. "		0,5	5,4	0	29	27	11,5	1,9	16	16		
"	6. "		0,7	5,3	0	28	27	11,2	1,8	15	15		
"	7. "		1	5	0	29	27	11,1	1,7	14	14		
"	8. "		0,5	4,7	0	29	27	11,2	1,6	15	15		
"	9. "		0,5	4,5	0	28	27	11,5	1,7	10	10		
"	10. "		0,5	5	0	24	24	10,1	1,6	9	9		
"	11. "		0,5	3,5	0	21	25	10,5	1,6	16	16		
Montevideo . .	12. "		1	4	0	22	22	10,3	1,5	12	12		
"	13. "		0	4	0	20	21	9,2	1,5	11	11		

50000 und neuerdings einer mit 80000 Stück gefrorenen Hammeln, entsprechend 10000, 20000 und 30000 Rindervierteln. In England existiren Lagerräume für das gefrorene Fleisch, natürlich mit Kühlmaschinen versehen, für 150000 bis 250000 Stück Hammel.

Zum Gefrieren von Ochsenfleisch sind vier Tage nöthig. Auf den Quadratmeter Grundfläche bei 2 Meter Raumböhe können etwa 300 kg Fleisch ganz dicht gehängt werden. Falls man das Fleisch in Magazinen übereinander packt, so gehen auf den Quadratmeter Grundfläche 700 kg Ochsenfleisch, oder man rechnet 4 bis 5 Ochsenviertel à 86 kg auf den Kubikmeter, d. i. bei 2 Meter Schichtungshöhe 700 bis 860 kg Fleisch auf den Quadratmeter Grundfläche. Alle näheren Angaben für Fleisch findet man auf Seite 386 fgde.

In Deutschland hat sich die Einfuhr von überseeischem Fleisch bis jetzt nur mässig durchführen lassen, wozu auch die wiederholten Einfuhrverbote beigetragen haben. Vom Verfasser ist eine

26. Kleine Gefrier- und Kühlanstalt für amerikanisches gefrorenes Fleisch errichtet worden, die hier in Fig. 420 zum Theil abgebildet ist. Aus der Zeichnung sind die Luftkanäle zu sehen, zur Absaugung und Zuführung der gekühlten Luft. Der Grundriss genügt, um diese sowohl, wie die isolirten Wände zu erkennen.

Wand-
solirung.

Bei dieser Art der Isolirung der Wände genügt die Annahme des Kälteverbrauchs überschläglichs so, dass ein Quadratmeter Wand, Bodenfläche und Decke für jeden Grad Temperaturdifferenz des Raumes gegen die Aussenluft eine Wärmeeinheit Erwärmung, d. h. Kälteaufwand, stündlich erfordert. Daraus ist der Gesamt-Kältebedarf zu berechnen, und zuzurechnen in 24 Stunden die Abkühlung des Fleisches um $\sim 4^\circ$, sowie Gefrieren von 10 Proc. Wasser vom Fleischgewicht. Für diese kleine Anlage stellt sich die Rechnung überschläglichs bei 400 qm gesammte Oberfläche und 20° Temperaturdifferenz in 24 Stunden

auf $400 \cdot 20 \cdot 24$	= 192000 W.E.
120 qm Grundfläche à 120 kg Fleischabkühlung um 4°	
= $120 \cdot 120 \cdot 4$	= 57600 „
Gefrieren von 1440 kg Wasser — $1440 \cdot 80$	= 115200 „
	Summa 364800 W.E.

oder pro Stunde ~ 18000 W.E. Kältebedarf.

Dazu genügt eine Linde'sche Maschine neue Nr. 8.

Amerika-
nische
Schlächterei.

In den Fig. 421 und 427 ist eine vollständige

27. Amerikanische Schlächterei

abgebildet mit Kühleinrichtung von der Buffalo Refrigerating Machine Co. Die englischen Bezeichnungen sind beibehalten. Das Schlachthaus ist für 50 Stück Rindvieh und 50 Stück Schweine pro Tag. Die

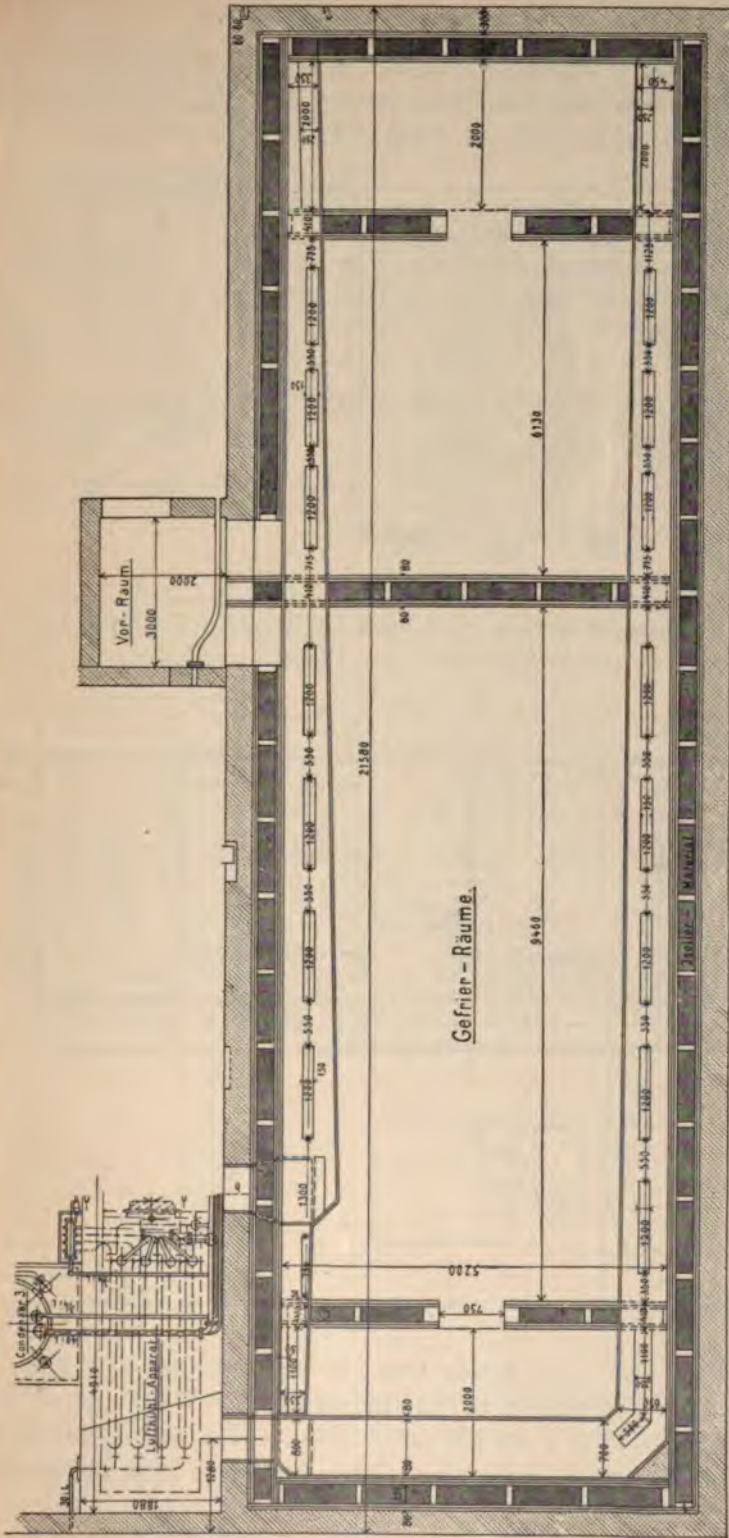


Fig. 420.

Einzelheiten der Schlachtereien werden interessiren, die Kühleinrichtungen sind recht einfach und nach allem Vorangegangenen leicht verständlich. Der Maasstab ist $\frac{1}{32}$ Zoll = 1 Fuss, d. h. $\frac{1}{432}$.

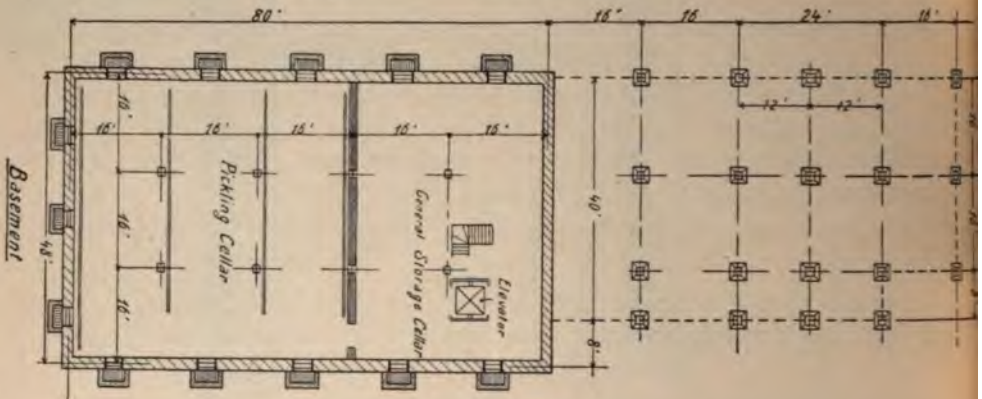


Fig. 421.

In Privatschlächtereien wird auch bei uns die Kühlung der Fleischräume mittels Salzwasserkühlröhren und Oberflächenkühlung vorgenommen,

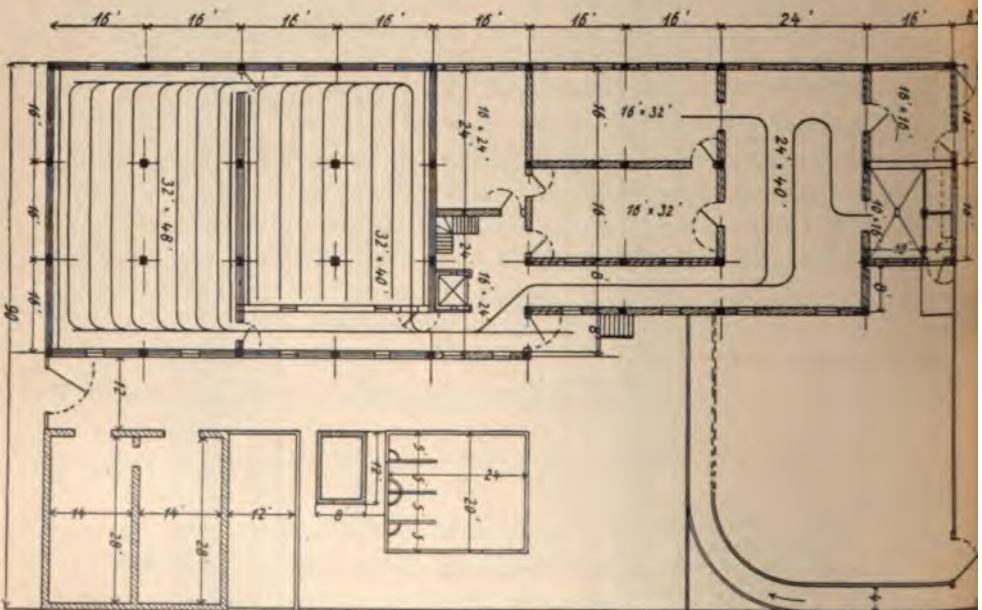


Fig. 422.

obwohl man auch dort besser thut, in der beschriebenen Weise oder wenigstens in kombinirtem System zu verfahren.

Die Fig. 428 (s. Seite 552 und 553) zeigt eine solche von der Firma Vaass & Littmann in Halle eingerichtete Kühlung. A ist der Maschine-

raum, *B* der Pökelraum, *C* die Fleischhalle und *D* der Laden. Der Betrieb ist mittels Kohlensäurekompressor und Gasmotor, wie in dem Raum *A* zu erkennen.

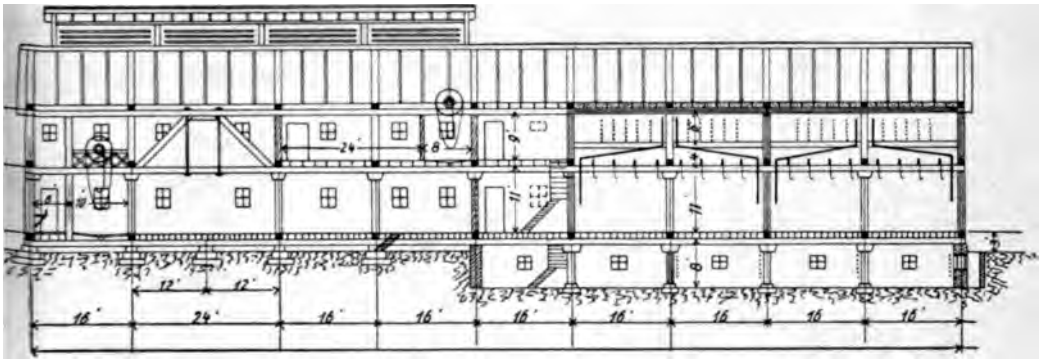


Fig. 423.

Bezüglich des Betriebes und der Anlage von Schlachthäusern und Kühlhäusern in denselben sei hier auf ein neu erschienenes Werk: „Bau,

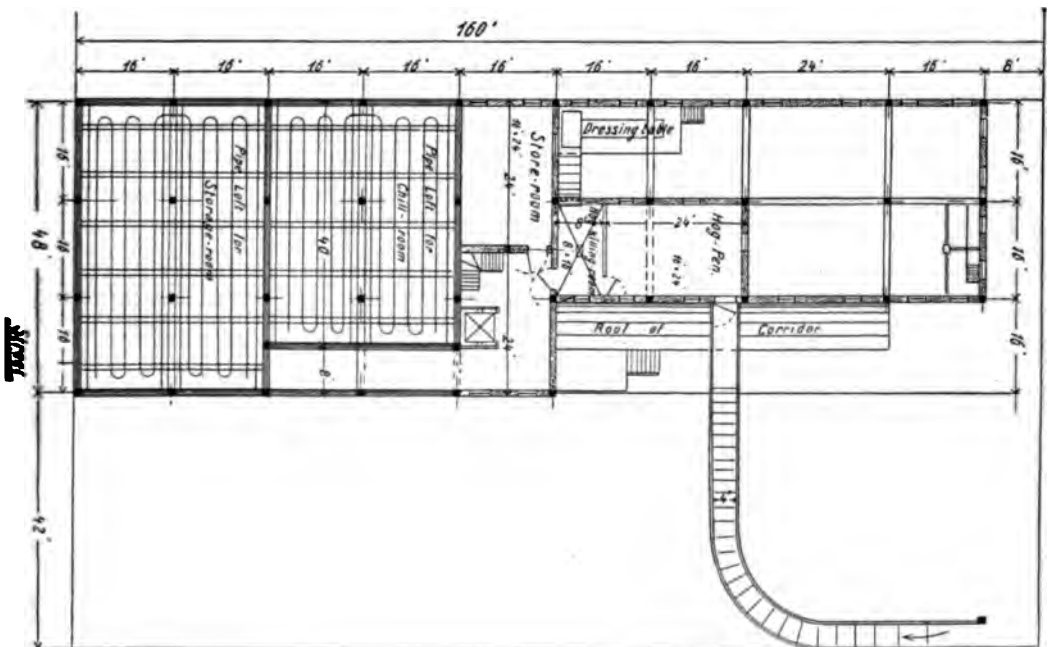
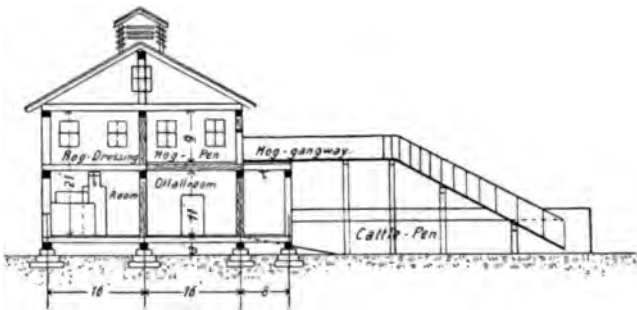


Fig. 424.

Einrichtung und Betrieb von öffentlichen Schlachthöfen“ von Dr. med. Oskar Schwarz in Stolp bei Julius Springer in Berlin 1899 ausdrücklich hingewiesen.

Kühlung von Fleischräumen bewirkt die Arctic Ice Machine Manufacturing Co. in Cleveland in Nordamerika dadurch, dass sie das Salzwasser in offenen, unter der Decke übereinander gelagerten Rinnen fließen lässt. Das Salzwasser saugt auch dabei so ausserordentlich grosse Mengen Wasser aus dem Raume auf, dass die trocknende und kühlende Wirkung



SECTION AT A-B.

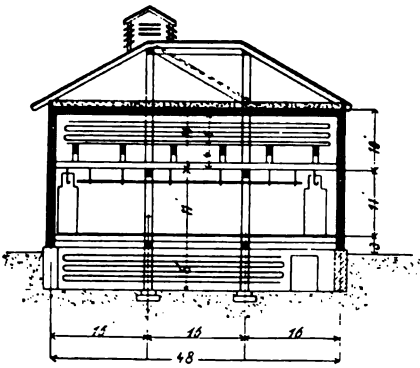
Fig. 425.

auf das Fleisch sehr gross ist. Aus eben diesem Grunde aber ist für Brauereien die derartige Verwendung von Salzwasser unpraktisch, weil die Verdampfung des Bieres in Gährbottich und Lagerfässer zu stark wird, was übrigens

Versuche bei uns

frappant bewiesen haben. Es dürfte daher auch die fast gleiche Moslersche Einrichtung für Bierbrauereien, für welche sie empfohlen wird, wenig Erfolg haben.

Es giebt eine ganze Reihe von Industriezweigen, in denen die Benutzung von Kälteerzeugungsmaschinen sich empfiehlt, wie z. B. in Zuckerfabriken zum Kühlen von Wasser, ebenso in Butter- und Margarinfabriken, in Paraffin- und Stearinfabriken zur schnellen Erstarrung der Massen, in Chokoladenfabriken zum Kühlen von Chokolade, von Hefe, Gelatine etc., in denen derartige Anlagen denn auch schon vielfach gemacht sind. Da die Einrichtungen aber den vorstehend beschriebenen sehr ähneln, so kann hier von Beschreibung solcher abgesehen werden. Bei Chokolade, welche bereits bei $+3^{\circ}\text{C}$.



SECTION AT C-D

Fig. 426.

weich zu werden, muss man schnell kühlen, um sie glatt und mit schöner Oberfläche aus den Formen zu lösen. Das geschieht durch kombinierte Raum- und Luftkühlung in geschlossenen Räumen. Weil aber, sobald die Chokolade in kühlem Zustande in wärmere Luft gebracht wird, sie

beschlägt und dann schimmelt, so ist man gezwungen sie nach der Abkühlung in dem geschlossenen Raume zu belassen, bis er allmählich auf die Temperatur der äusseren Luft sich erwärmt hat.

Professor Pictet hat eine Anzahl Brochuren über Art der Anwendung von Kältemaschinen in verschiedenen Gewerben veröffentlicht, die aber nur mit Vorsicht benutzt werden dürfen, weil sie meistens geschrieben worden sind, bevor genügende Erfahrung damit in den Gewerben vorlag. So erfordert in Chokoladenfabriken der erwähnte Uebelstand noch mancherlei Modifikationen, und die für Spritfabriken beschriebene Einrichtung zur Erzeugung fuselfreien, fast absoluten Alkohols ist zwar mit vielem Geist erdacht, wird aber kaum Erfolg haben. Wir nehmen deshalb auch Abstand von der Beschreibung.

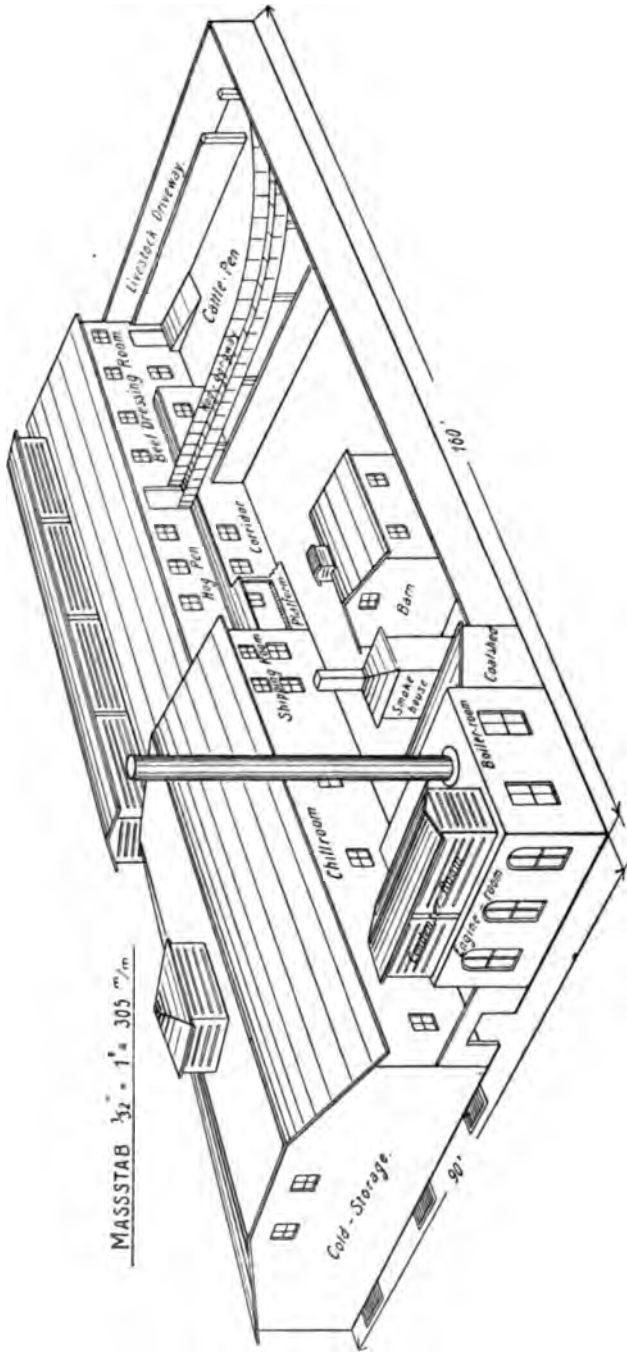


Fig. 427.

Die Zukunft wird bald zur Benutzung von Kältemaschinen führen, behufs Abkühlung von Räumen, in welchen sich Menschen aufhalten, in der heissen Jahreszeit. Vereinzelte Versuche sind in der Beziehung bereits gemacht, jedoch sei bei dieser Gelegenheit darauf aufmerksam gemacht, dass man sich wohl hüte, die Luft zu kalt einblasen zu lassen. Es würde solches Vorgehen ähnliche Misserfolge haben, wie die erwähnte Abkühlung von Kellern mittels Luft von abnormen Kältegraden. Man strebe die Temperatur der eintretenden gekühlten Luft stets nur 2° unter



Fig. 429.

der im Raume befindlichen zu halten. Grössere Differenz bewirkt einen so starken Zug und Kältegefühl, dass niemand darin den Aufenthalt ertragen könnte.

Die Fig. 429 zeigt einen Chokoladenkühlraum französischer Konstruktion von der Compagnie industrielle des Procédés Raoul Pictet in Paris, in welcher das kombinirte Verfahren in einem gemeinschaftlichen Raume vorgenommen wird.

In Deutschland pflegt man verschiedene Räume lediglich durch Einblasen kalter trockner Luft in verschiedenen Temperaturen zu erhalten. Zuerst wird im Raum 1 die Chokolade scharf abgekühlt, dann in Raum 2 gebracht, der einige Grade höhere Temperatur hat. In Folge der Trockenheit der Luft kann die Chokolade nicht beschlagen, sie selbst aber nimmt die höhere Temperatur an. Dann gelangt sie in Raum 3 mit wiederum etwas höherer Temperatur, und so fort, bis zur gewöhnlichen Zimmertemperatur. Auf diese Weise behält sie ihren Glanz und ihre Reinheit. Fig. 430 zeigt eine solche Chokoladenküblanlage vom Verfasser.

Schliesslich sei noch in Fig. 431 eine künstliche Sommereisbahn dargestellt, ebenfalls von obiger französischer Firma ausgeführt. Der Fussboden ist direkt mit den Gefrierrohren belegt und das übergossene Wasser zum

ieren gebracht. Von Zeit zu
 muss frisches Wasser über-
 lassen und zum Gefrieren ge-
 nit werden, um die Bahn
 er glatt zu haben. Die kalte
 ösung muss natürlich unau-
 stz circuliren.

Neuerdings legt man zwei
 Bassins ineinander, deren
 Innenraum mit Soole angefüllt
 ist. Das obere Bassin enthält die
 Luft.

Auf den Quadratmeter Eis-
 genügt die Annahme von
 10 W.E. Kälteverbrauchstündlich.

Folgende Temperaturgrade
 sind für gewöhnlich in den
 verschiedenen Industriezweigen
 erforderlich:

Die Bierbrauerei gebraucht
 für die Gärung etwa $+6^{\circ}\text{C}$., im
 Keller $+1/2$ bis 2° . Es wird
 für Süsswasser von $+1/2^{\circ}$ und
 für Salzwasser von -3 bis
 0°C . angewendet. Zur Paraf-
 rikation, wie zur Margariner-
 und zur Spritfabrikation
 wird kaltes Süsswasser von etwa
 0°C .

Für Fleischräume ist Circu-
 lation kalter Luft erforderlich von
 $+4^{\circ}\text{C}$. bis $+10^{\circ}\text{C}$. In Gefrier-
 räumen, in welchen das Fleisch
 vollständig eingefroren wird, geht
 die Temperatur bis -15°C . herab. Ja, für
 arktische frische Fische wird
 eine Temperatur von -50°C .
 nöthig gehalten, um sie nach
 dem Ausladen möglichst lange ge-
 halten zu erhalten.

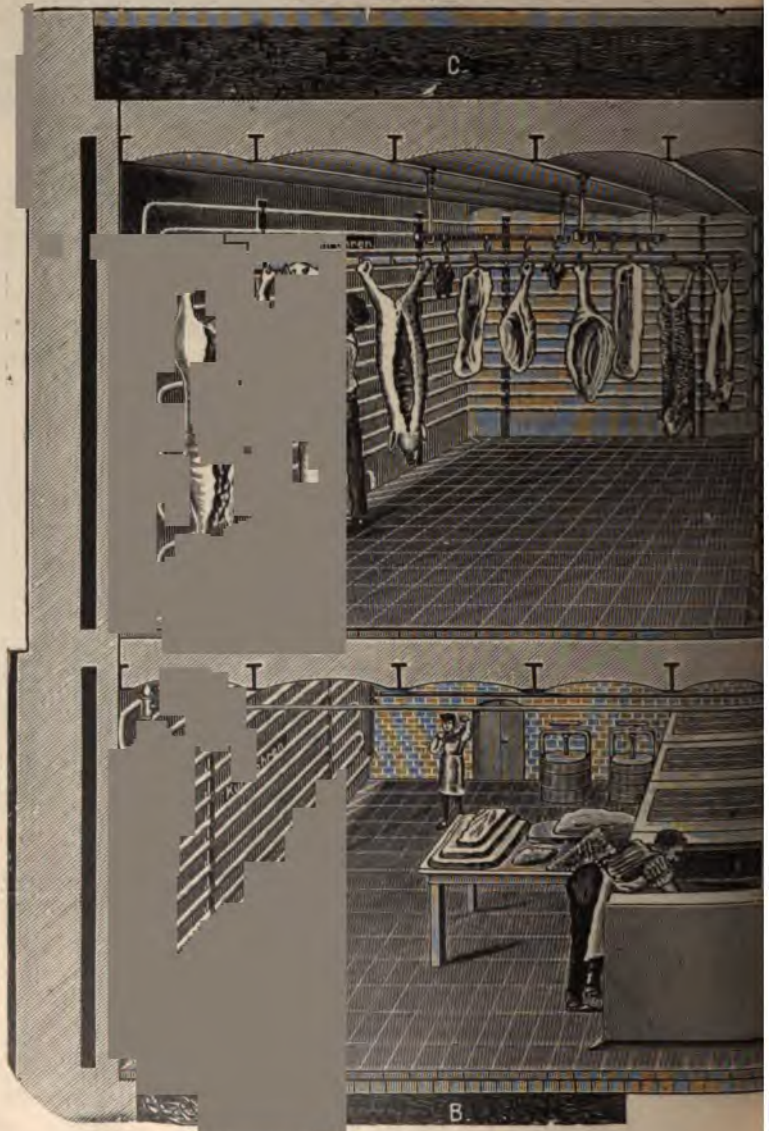
Transportwagen auf Eisenbahnen pflegt man auf 0° bis $+1/2^{\circ}\text{C}$. zu
 halten. Auf Schiffen hält man für Fleischtransport entweder Luftcirculation



Fig. 430.

von -2° bis -4° C., oder man lässt den ganzen Raum, wie oben, einfrieren bei Temperaturen bis -15° C.

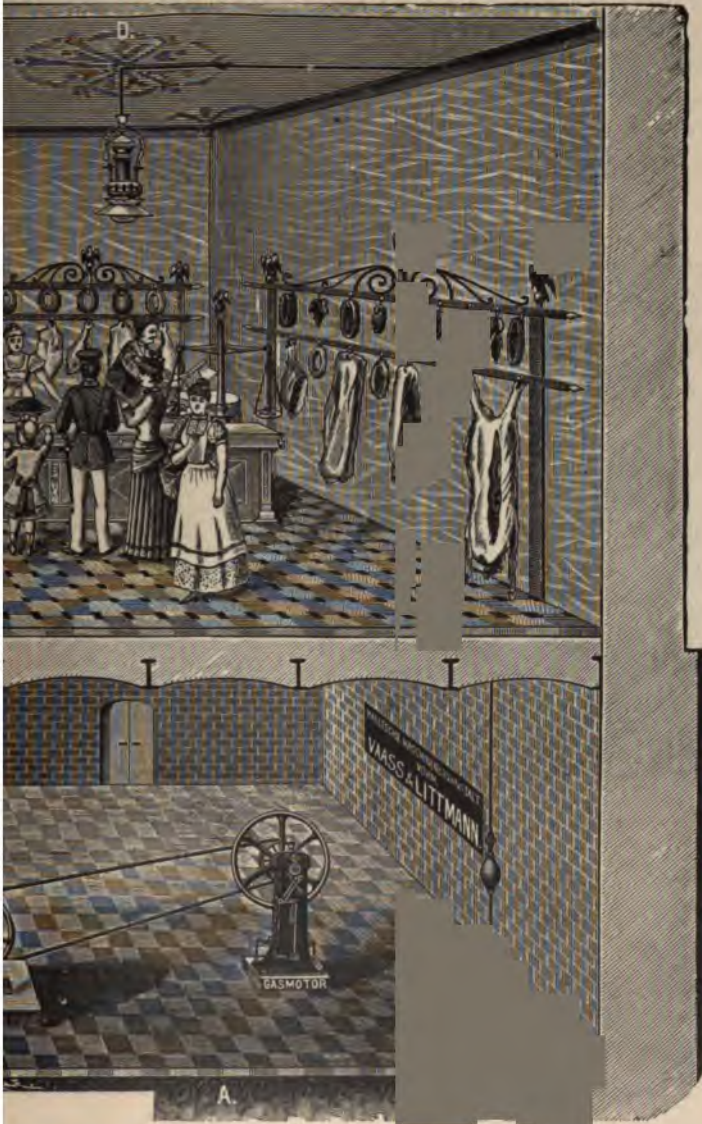
Früchte, Eier, Vegetabilien, Kartoffeln, Butter, Milch, Hefe, Räucherfisch, Fischeier u. dergl. hält man auf wenig über dem Gefrierpunkt.



Chokolade wird meistens mittels Luftcirculation nur bis $+6^{\circ}$ bis 8° abgekühlt. Räume, in denen Menschen sich aufhalten, oder Eisenbahnwagen für Personentransport, werden auf ca. 20° bis 24° C. gehalten u. s. w.

Angefügt sei folgender Artikel des Verfassers aus der Zeitschrift für Heizungs-, Lüftungs- und Wasserleitungstechnik über Kühlung von Wohngebäuden oder Schulen u. s. w. im Sommer.

Im Sommer pflegt sich häufig der Wunsch geltend zu machen, die



Wohnräume zu kühlen. Das unterliegt aber mancherlei Schwierigkeit, obwohl Heizung und Abkühlung von Räumen grosse Aehnlichkeit miteinander haben. Die Heizung geschieht durch Erwärmen, die Kühlung durch Abkühlen der in den Räumen befindlichen Luft. Ein wesentlicher

Unterschied liegt nur in der Art der Beschaffung von Wärme und Kälte. Die Wärme wird leicht durch Verbrennen von Brennmaterial direkt erzeugt, während Kälte (Abkühlung) durch Maschinen auf Umwegen geschaffen werden muss. Es giebt so verschiedene Systeme von Kühlmaschinen, dass ein Eingehen darauf hier viel zu weit führen würde, und es sei daher von der Beschreibung von Kühlmaschinen ganz abgesehen, vielmehr für die nachfolgenden Auseinandersetzungen angenommen, dass Kälte wie die Wärme vorhanden sei.

Es dürfte wohl ohne Weiteres einleuchten, dass in warmen Ländern, in heisser Jahreszeit auch in unseren Gegenden, die Kühlung der Wohnhäuser bei fortschreitender Zivilisation ebenso nöthig ist wie bei uns die



Fig. 431.

Heizung im Winter. Wäre die Kälte so leicht zu beschaffen wie die Wärme, so würde gewiss der allgemeinen Einführung der Kühlung von Wohnhäusern nichts im Wege stehen. Leider sind die Kühlmaschinen noch recht kostspielig und complicirt, und es wird nach dieser Richtung ein weitgehender Erfolg zu erwarten sein, wenn Vereinfachung der Kühlmaschinen, wie es von dem Verfasser übrigens bereits in die Wege geleitet ist, erreicht sein wird. Allgemeine Einführung der Häuserkühlung nicht nur in den Tropen, sondern auch in der heissen Jahreszeit in unserem Klima, ist daher bis jetzt nur noch eine schöne Hoffnung, die aber von den Heizungstechnikern im Auge behalten werden sollte. Die Grundsätze, welche bei der Kühlung zu beobachten sind, weichen von denen der Heizung zu Grunde liegenden kaum ab. Zwar hat man zu beachten, dass

bei der Heizung die Häuser von kälterer Temperatur umgeben sind, bei der Kühlung dagegen von wärmerer, aber geeignete Isolirung der Wandungen u. s. w. schützt im ersteren Falle gegen starke Abkühlung, im letzteren gegen starke Erwärmung. Die in einem Falle geltenden Regeln über Wärmetransmission sind auch für den anderen Fall anwendbar.

Die Luft in den zu kühlenden Räumen kann in ganz ähnlicher Weise gekühlt werden, wie man sie jetzt zu erwärmen pflegt. Entweder geschieht es durch Oberflächenkühlung an Kühlkörpern, wie solche beim Heizen als Heizkörper verwendet werden, das sind Rohrapparate, Calorifere oder Rippenkörper u. s. w., oder durch Absaugen der Luft aus den Räumen, Abkühlen an besonderen Kühlkörpern ausserhalb der Räume und Zurückführung in gereinigtem Zustande. Die Kühlkörper werden durch die Kühlmachine kühl erhalten, die aus den Räumen abgesaugte Luft verliert an den kalten Oberflächen des Kühlkörpers seine Feuchtigkeit und Unreinigkeit und strömt in gereinigtem Zustande wieder ab. Wenn man die Kühlkörper so kalt hält, dass die Feuchtigkeit, an dem Kühlkörper zu Eis und Schnee erstarrt, anfriert, so erlangt man volle Reinheit der Luft, Zurückhalten von Staub und Keimen u. s. w.

Die Aehnlichkeit der letzten Art Kühlung mit der Luftheizung ist leicht zu erkennen. In den Gewerben, wie Bierbrauereien, Schlacht-, Gefrier- und Kühlhäusern sind diese Verfahren lange bereits angewandt, und wie wohl zu sehen, ist die Uebertragung auf Kühlung von Wohnhäusern leicht durchzuführen.

Die Wärmetransmission durch die Wände der Kühlkörper folgt denselben Gesetzen, die bei der Heizung angewendet werden, und man hat sich bei Kühlanlagen nur in den umgekehrten Verlauf hinein zu denken. Da die Grundsätze und die Ausführungsart bei der Abkühlung mit denen bei der Heizung übereinstimmen, so ist es auch möglich, mit denselben oder ähnlichen Hilfsmitteln im Sommer zu kühlen, mit denen die Räume im Winter beheizt werden.

Für Schulen, Comptoirgebäude, Versammlungssäle und dergleichen ist dies in unseren Klimaten sehr beachtenswerth.

Die Heizkörper, die bei Wasserheizungen zum Heizen benutzt werden, lassen sich fast ohne jede Aenderung als Kühlkörper zum Kühlen verwenden. Statt im Winter darin warmes oder heisses Wasser umlaufen zu lassen, durchströmt sie im Sommer kaltes Wasser oder, wenn erforderlich, kaltes Salzwasser, dessen Temperatur unter dem Gefrierpunkt gehalten wird.

Ein ganz oberflächlicher Ueberschlag mag nur dazu dienen, um die Durchführbarkeit klar zu machen.

Im Winter pflegt man bei uns mit 45° C. Unterschiede zwischen Aussen- und Innentemperatur, d. h. mit -25 und $+20^{\circ}$ zu rechnen und

dementsprechend die Oberfläche der Heizkörper festzustellen, unter Annahme eines bestimmten Temperaturunterschiedes zwischen Heizflüssigkeit und der Luft im beheizten Raume.

Im Sommer ist für die Kühlung höchstens 10 bis 12° C. Unterschied zwischen Aussen- und Innentemperatur anzunehmen, d. h. $\frac{1}{4}$ des Winterunterschiedes.

Bei Benutzung der Heizkörper, jetzt Kühlkörper, für die Kühlung, d. h. bei gleicher Oberfläche, genügt also auch $\frac{1}{4}$ des Unterschiedes zwischen Kühlflüssigkeit und zu kühlendem Raume.

Nehme ich an, dass der Temperaturunterschied zwischen Heizflüssigkeit und zu beheizendem Raume $95 - 20 = 75^\circ \text{C}$. sei, so genügt für die Kühlung $\frac{1}{4}$ des Unterschiedes, d. h. $19 - 20 = -1^\circ \text{C}$. der Kühlflüssigkeit.

Dieser Ueberschlag ist ganz roh. Die Kühlflüssigkeit kann durch die Kühlmaschinen bei Bedarf um 20° noch erniedrigt werden. Die Darstellung soll nur zeigen, dass die Kühlung von Häusern, in denen sich Centralheizung, besonders Wasserheizung, befindet, leicht durchzuführen ist, wenn man sich zur Anschaffung einer passenden einfacher Kühlmaschine entschliesst.

Es gibt Betriebsmaschinen in grossen Gebäuden, die im Winter zur Erzeugung elektrischen Lichts verwendet werden. im Sommer lassen sie sich leicht zum Betriebe der Kühlmaschine benutzen. In anderen Fällen kann die Kühlmaschine durch einen Elektromotor mittels etwa von elektrischen Centralen zu beziehenden elektrischen Stromes im Betriebe erhalten werden.

Man pflegt bei Rippenheizkörpern auf den Quadratmeter Heizfläche eine stündliche Wärmetransmission von 400 W.E. in Rechnung zu stellen, und zwar ist das der Fall bei der Temperaturdifferenz zwischen Heizflüssigkeit und Innenluft von $95^\circ - 20^\circ = 75^\circ \text{C}$.

Zur Kühlung ist nur $\frac{1}{4}$ der Wärmetransmission, d. h. etwa 100 W.E. pro Quadratmeter Heizfläche erforderlich.

Beispielsweise würde ein Haus mit Centralheizung und Heizkörperoberfläche von zusammen 60 qm zur Kühlung etwa $60 \times 100 = 6000$ W.E. stündliche Wärmeübertragung gebrauchen. Für diese Leistung ist nur eine kleine Kühlmaschine erforderlich.

Die Kompressionsmaschinen sind aber recht complicirt, und deren Betrieb sehr erschwert, der Kraftgebrauch für unser Beispiel etwa 3 bis 4 Pferdekkräfte. In den weitaus meisten Fällen dürfte es aber angebracht sein, für diesen Zweck Ammoniak-Absorptionsmaschinen anzuwenden. Diese gebrauchen nur eine geringe Betriebskraft für die Flüssigkeitspumpe, und wenn sie auch mehr an Brennmaterial kosten, als Kompressionsmaschinen mit guten Dampfmaschinen, so spielt es hier keine wesentliche Rolle.

Die Maschine für 6000 W.E. Leistung kostet etwa 8000 Mark, der stündliche Kohlenverbrauch ist etwa 4 bis 5 kg, d. h. etwa 10 Pfennige, und die Pumpe kann durch Wasserdruck, Elektromotor, oder durch einen kleinen Gasmotor angetrieben werden, je nach den Verhältnissen. Der Kraftverbrauch beträgt höchstens $\frac{1}{2}$ Pferdekraft. An Kühlwasser werden stündlich etwa 600 Liter gebraucht. Ausser auf guten Verschluss von Thüren und Fenstern ist auf gute Isolirung zu achten.

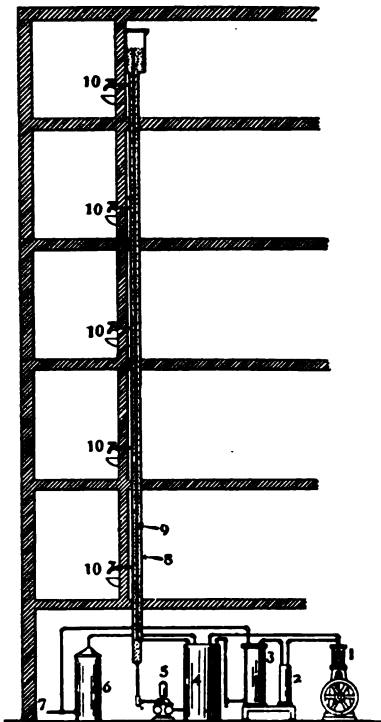


Fig. 432.

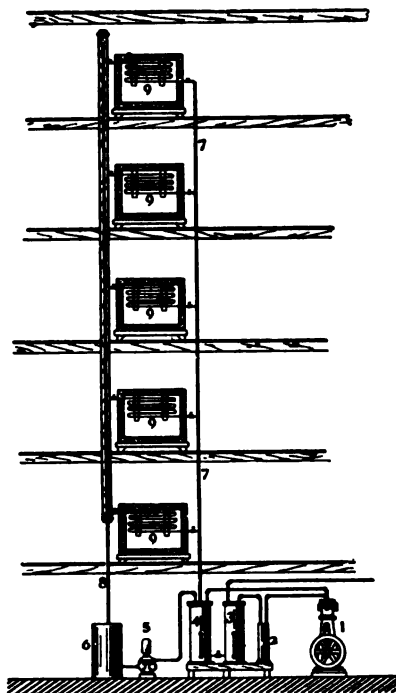


Fig. 433.

In Amerika ist man gewöhnt sehr kaltes Wasser zu trinken, und da findet man in grossen Comptoirgebäuden für diesen Zweck besondere Kühleinrichtungen, wie in Fig. 432 abgebildet. Die Abbildung stammt von der Buffalo Refrigerating Machine Co.: 1 ist der Kompressor, 2 der Ammoniakreiniger, 3 der Kondensator, 4 Verdampfer und Wasserkühler, 5 Circulationspumpe für das Wasser, 6 ein Wasserfilter, 7 das Saugrohr für Wasser aus dem Brunnen, 8 das Rohr für zurücklaufendes kaltes Wasser, 9 das Rohr für Zuführung des gekühlten Wassers, 10 die Abzapfstellen des gekühlten Wassers. Die Circulationspumpe hält das Wasser in beständiger Bewegung. Die Fig. 433 zeigt mit oder ohne Verbindung mit dieser Einrichtung eine Kühlvorrichtung der Räume von derselben

Firma. Darin ist 7 die Zuleitung des gekühlten Wassers, 8 der Rücklauf, 9 sind die Kühlapparate der Räume, 6 ist ein Reservoir für die zurückkommende Salzsoole, 4 der Verdampfer mit Salzsoole. Die übrigen Zahlen sind dieselben, wie in voriger Figur.

Wenn die beiden Einrichtungen mit einander verbunden werden, so kann natürlich nur mit Süßwasser gearbeitet werden, oder es ist ein besonderer Süßwasserkühler vorhanden.

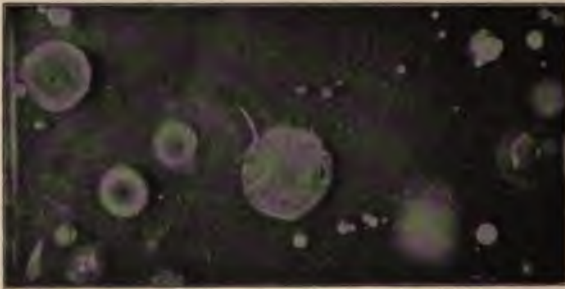


Fig. 434.

Ueber die hauptsächlich erfolgende Reinigung der Luft in Schlachthäusern sind die Versuche interessant, welche von der Maschinenfabrik Humboldt mit ihrem Luftkühlapparat damit gemacht sind. Sie sagt darüber:

Die durch den Kühlprozess aus der circulirenden Luft ausgeschiedene Feuchtigkeit, welche sich sammt den Unreinigkeiten, Pilzkeimen u. s. w.



Fig. 435.

zunächst als Reif an den Rohrschlangen des Luftkühlapparates ansetzt, wird beim Abthauen der Rohrschlangen aus dem Apparat in Form von Wasser entfernt, so dass die Luft stets wieder mit reinen, trockenen und kalten Flächen in Berüh-

rung kommt, stets also aufs Neue einer gründlichen, gleichzeitig mit der Entfeuchtung vor sich gehenden Reinigung unterzogen wird.

Sorgfältig angestellte Versuche zeigen, dass bei den mit Humboldt'schen Luftkühlapparaten arbeitenden Kühlanlagen Fleisch und andere Lebensmittel nicht nur wochen-, sondern monatelang im Kühlraum aufbewahrt werden können (Eier bis zu 8 Monaten), was auf eine ganz besonders reine, bakterienfreie und trockene Luft schliessen lässt.

Das Fleisch wird bei langer Aufbewahrung auf seiner Oberfläche abgetrocknet, im Innern ist dasselbe noch vollständig saftreich. Das Aussehen des Fleisches ist frisch und die Fleischqualität ganz vorzüglich.

Wie vollständig die in der Kühlhausluft enthaltenen Bakterien und fäulniserregenden Pilzkeime durch den Humboldt'schen Luftkühlapparat beseitigt werden, beweisen die bakteriologischen Untersuchungen, welche Herr Dr. Mellin in der Kölner Anlage vorgenommen hat.

Die Culturplatte 1 (Fig. 434) zeigt den Gehalt der Kühlhausluft an Bakterien, nachdem der Kühlraum für den Verkehr geschlossen und kurz vorher eine grössere Menge frischen Fleisches eingebracht worden ist. Die Platte war der Berührung der Kühlhausluft $\frac{1}{2}$ Stunde lang ausgesetzt. Die Culturplatte 2 (Fig. 435) zeigt die Beschaffenheit der Kühlhausluft, nachdem der Luftkühlapparat — Kühlraum für den Verkehr geschlossen —



Fig. 436.

3 Stunden lang gearbeitet hat. Während dieser Zeit sind ca. 80 Procent der vorher eingebrachten Bakterien aus der Kühlhausluft durch die Luftkühleinrichtung entfernt worden.

Die Platten sind 50 Quadratcentimeter gross, und sind hier nach genommenen Photographien abgebildet.

Nach weiterem Arbeiten wird auch der letzte Rest an Bakterien herausgeholt, so dass die Kühlhausluft alsdann völlig rein und für die Erhaltung des Fleisches von tadelloser Beschaffenheit ist. Die zweite Platte war der Berührung der Kühlhausluft ebenfalls $\frac{1}{2}$ Stunde lang ausgesetzt.

Die Culturplatten 3 und 4 (Fig. 436) zeigen die unmittelbare Wirkung des Luftkühlapparates. Platte 3 war kurz vor dem Luftkühlapparat, Platte 4 kurz hinter dem Apparate je $\frac{1}{2}$ Stunde geöffnet; dieselben zeigen, eine wie grosse Anzahl Bakterien beim Durchgang der Luft durch den Apparat zurückgehalten wird.

Eine eigenthümliche Anwendung einer Kaltluftmaschine fand durch Kapitän Lindmark in Schweden bei Erbauung eines Tunnels für Fussgänger durch einen Hügel in Stockholm statt, auf dem verschiedene Villen standen. Man stiess bei der Ausgrabung auf sehr weichen, wässerigen Lehm Boden, dessen Beseitigung die Sicherheit der Häuser gefährdet

hätte. Man brachte nun mittels einer Kaltluftmaschine den Grund zum Gefrieren und mauerte dann den Tunnel schleunigst aus. Das wurde stückweise gemacht, indem man den Eingang des Tunnels durch eine doppelte gut isolirte Bretterwand verschloss. Nachdem die Kältemaschine unausgesetzt 60 Stunden in Thätigkeit war, war der Boden zu einer harten Masse gefroren, übergehend von einer Tiefe von 5 Fuss am Boden des Tunnels zu einem Fuss nahe an der Decke. An der höchsten Stelle trat kein Gefrieren ein, und obwohl die Temperatur am Boden der Kammer -40° C. war, zeigte ein Thermometer 5 m über dem Boden den Gefrierpunkt an. In dieser Weise wurde die Arbeit in Abtheilungen von etwa $1\frac{1}{2}$ m Länge vorgenommen; nachdem man einmal bei der Arbeit war, hatte man nur nöthig, Nachts während 10 bis 12 Stunden die Maschine in Betrieb zu halten und konnte dann bei Tage die Tunnelarbeiten fortsetzen, vorausgesetzt, dass keine starken Regengüsse eintraten. Die Maschine lieferte Luft von -55° C., während die Temperatur der Gefrierkammer nach 12 Stunden Thätigkeit der Maschine -20° bis -26° C. war, bald aber nach Beginn der Menschenarbeit bis zum Gefrierpunkt stieg.

Auf diese Art wurde der Tunnel in einer Länge von 25 m in etwa 80 Tagen fertig gestellt.

Aehnlich wurde von Ingenieur Poetsch in Aschersleben das Abteufen von Schächten in schwimmendem Gebirge durch Gefrierenlassen desselben bewirkt. Das Verfahren besteht darin, dass die Röhren für die Salzlösung in die schwimmende Schicht gelegt werden, wodurch der Boden zum Gefrieren gebracht und abgeteuft wird, und zwar stellt man die Röhren vertikal an den Schachtwänden hinter dem schwimmenden Stosse reihenweise auf.

Auf diesen Resultaten fussend ist endlich vorgeschlagen worden das Gefrierverfahren auch bei Gründung von Brückenpfeilern zur Anwendung zu bringen, ohne aber meines Wissens bis jetzt thatsächliche Erfolge gehabt zu haben.

Es kann bei geschickter Benutzung der in vorstehendem Buche mitgetheilten Tabellen und Zahlen für den Maschinenkonstrukteur nicht schwer werden, die passenden Dimensionen für Maschinen der verschiedensten Art herauszurechnen, obwohl ich es nicht für meine Aufgabe erachtet habe, mich auf solche Einzelheiten zu verbreiten. Ebenso mag hier der Hinweis genügen, dass die erforderliche Grösse einer Kältemaschine für einen bestimmten Zweck aus dem Kälteaufwand bestimmt werden muss, der sich berechnet bei Abkühlung von Körpern unter Berücksichtigung der specifischen Wärme, bei Abkühlung von Räumen ausserdem nach der Erwärmung von aussen, die nach denselben Gesetzen bestimmt wird, die

man sonst bei Centralheizungen anwendet. Die Ingenieure, welche Kühlanlagen machen, pflegen Erfahrungszahlen sowohl bezüglich der Kälteabgabe der Kühlröhren, als bezüglich der zu kühlenden Räume anzuwenden, jedoch mag dieser Hinweis hier genügen. Das Gebiet ist so schwierig, und es giebt so viele Gesichtspunkte zu berücksichtigen, dass es ohnehin ganz unerlässlich erscheint, einen tüchtigen Fachingenieur für solche Anlagen heranzuziehen. Ist einmal der Kälteaufwand festgestellt, so ist die Grösse der Maschine leicht aus den in diesem Buche mitgetheilten Leistungstabellen zu wählen.

Zum Schlusse sei noch einiges über Erzeugung sehr niedriger Temperaturen gesagt und beispielsweise der ältere Apparat von Ernest Solvay in Brüssel beschrieben, der diesem Zwecke dient, und ihn durch eine Reihenfolge von Kompressionen oder Expansionen erreicht. Hierbei wird die bei jeder Verdichtung oder Ausdehnung erzeugte Wärme oder Kälte in einem gleichsam als Regenerator dienenden Körper aufgesammelt und darauf von dem zur weiteren Verdichtung oder Ausdehnung bestimmten Dampfe oder Gase aufgenommen. Der in Figur 437 dargestellte Apparat besitzt einen mit einer Verlängerung *B* versehenen massiven Kolben *A*. Dieser ist so lang wie der Cylinder *F*, hat aber einen etwas geringeren Durchmesser, so dass dieser Fortsatz beim Eindringen in die Verlängerung *E* des Cylinders zwischen sich und dieser einen schmalen ringförmigen Zwischenraum lässt. Am oberen Ende dieses Zwischenraumes sind zwei Rohrstützen mit von Excentern bewegten Schieberventilen angeordnet, von denen *C* zur Einführung verdichteten Gases, *D* zum Auslassen des expandirten Gases dient. Die Cylinderverlängerung *E* ist von schlechten Wärmeleitern umgeben. Der Kolbenfortsatz be-

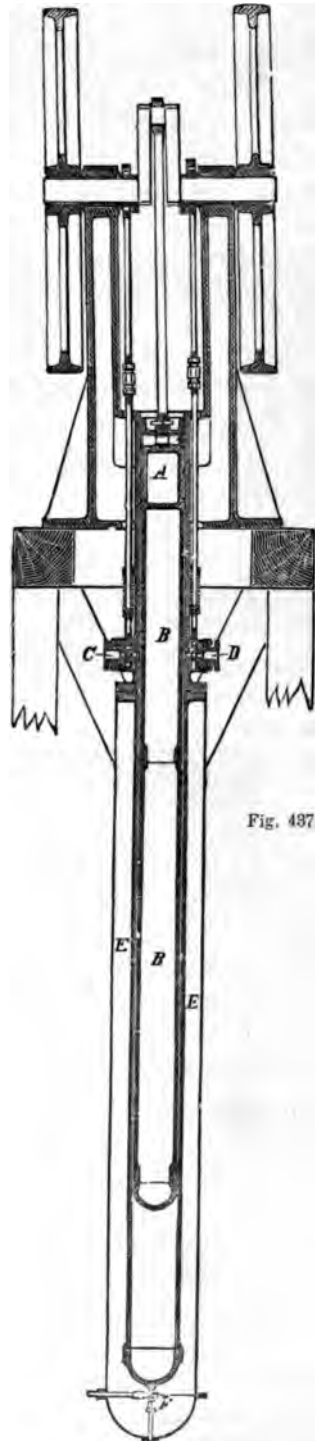


Fig. 437.

steht aus Metall, ist hohl und wird im Innern mit schlechten Wärmeleitern angefüllt. Am untern Theil der Cylinderverlängerung sind mit Verschlüssen versehene Oeffnungen *F* zum Auslassen des komprimirten und verflüssigten Gases angebracht. *B*, sowie die Cylinderverlängerung *E* sind schwach konisch nach unten, derart, dass beim untersten Kolbenstande ein schädlicher Raum nicht mehr vorhanden ist. Das alsdann in

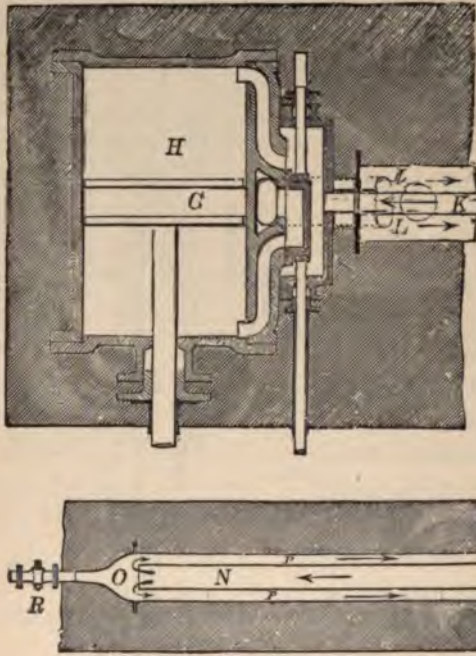


Fig. 438.

den Apparat eingeführte und zu komprimirende Gas erfüllt den ringförmigen Zwischenraum zwischen Kolbenfortsatz und Cylinderverlängerung, nimmt die Kälte auf, welche bei der vorhergehenden Expansion in den Wänden des ringförmigen Zwischenraumes aufgespeichert wurde, und expandirt dann beim Zurückgehen des Kolbens, wodurch wiederum Kälte erzeugt wird, welche von den Apparatmassen aufgenommen wird. Beim oberen Hubstande des Kolbens wird das expandirte Gas hinausgelassen.

Die Einrichtung wird auch doppelwirkend gebaut.

Die Fig. 438 stellt die Expansionskammer *O* dar,

welche aus zwei konzentrischen Röhren *N* und *P* besteht, durch deren erstere die komprimirten Gase zugeführt, und durch letztere die expandirten Gase abgeführt werden, wobei mittels der kalten expandirten Gase eine Abkühlung der komprimirten Gase stattfindet. Die dabei verflüssigten Gase sammeln sich im Rohr *R*, welches bedeutend geringeren Querschnitt hat als Rohr *N*. Die so erzeugte Kälte kann zu den verschiedensten Zwecken, meistens im Laboratorium oder physikalischen Kabinet, auch zur Verflüssigung von Luft, benutzt werden. Wenn in solchem Apparate leichter kondensirbares Gas verdampft wird, so kann man schwerer kondensirbares unter Druck dadurch verflüssigen. Durch Anordnung mehrerer solcher Apparate hinter einander mit immer schwerer kondensirbaren Gasen wird es schliesslich möglich, die permanenten Gase zu verflüssigen.

Es sei nun noch über diesen Gegenstand ein von dem Verfasser vor einigen Jahren in dem Hamburger Bezirksverein Deutscher Ingenieure gehaltener Vortrag:

Ueber Verdichtung und Verflüssigung von Gasen und deren
Verwendung und Aufbewahrungsart

angefügt, der auch hier interessiren wird, weil er grösstentheils dem Zwecke des Buches entspricht.

Es ist uns so geläufig, uns umgeben von Luft und permanenten Gasen, von Flüssigkeiten, wie Wasser etc., und von festen Stoffen aller Art zu sehen. Ohne dass es uns wunderbar erscheint, sehen wir auch Wasser z. B. fast gleichzeitig in allen drei Aggregatzuständen als Wasserdunst, als flüssiges Wasser und als Eis oder Schnee. Diese Zustände sind aber nur von der Temperatur abhängig, und wenn wir uns den absoluten Nullpunkt der Temperatur, der bei -273° C. liegt, vergegenwärtigen, so sind bei ihm alle Stoffe fest. Auf einem gänzlich abgekühlten Weltkörper, wie dem Monde, sind daher sowohl die Atmosphäre, die Luft, wie das Wasser fest. Das ist also auch die späte Zukunft unserer Erde. Bei ganz hohen Temperaturen dagegen, wie solche uns noch nicht zu erzeugen möglich sind, werden alle Stoffe gasförmig. Wir sehen, dass unter Druck die Verflüssigung der Gase früher herbeigeführt werden kann, dass im Vacuum dagegen die Verdampfung früher erfolgt, und ich will versuchen diese Dinge so zu erklären, wie es durch die Hypothesen der Wissenschaft jetzt angenommen wird.

Das Weltall besteht nach diesen Voraussetzungen aus dem Stoff oder der Materie und aus dem Weltenäther. Beide sind zusammengesetzt aus ganz ausserordentlich kleinen Theilen, den Atomen. Die Theile des Weltenäthers sind kleiner, bedeutend kleiner, als diejenigen der Materie. Die Atome der Materie sind mit gegenseitiger Anziehung begabt, die Atome des Aethers mit gegenseitiger Abstossung. Es ist sogar die Grösse der Atome berechnet worden, und zwar giebt Thomson den Durchmesser der Atome der Materie zu nicht weniger als 2 Tausendmilliontel eines Centimeters an, und es werden die Grössen der Atome verschiedener Grundstoffe berechnet. Um ein Bild über die Grösse dieses Maasses zu geben, wird folgender Vergleich aufgestellt. Denkt man sich einen Wassertropfen so gross wie die Erde, so wird ein Wassermolekül so gross wie eine Flintenkugel. Ein Wassermolekül aber ist zusammengesetzt aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff. Die kleinsten Theile solcher zusammengesetzten Körper nennt man Moleküle. .

Es haben nach Clausius und Maxwell die Atome des Wasserstoffs 4 Hundertmilliontel mm Durchmesser, Sauerstoff 7 Hundertmilliontel mm Durchmesser, Stickstoff 8 Hundertmilliontel mm Durchmesser; in 1 ccm

Gas sind enthalten 60000 Billionen Moleküle, in 1 ccm festem oder flüssigem Körper 3 bis 100 Quadrillionen Moleküle. Die Abstände der Gasmoleküle sind nach Clausius $\frac{1}{10000}$ mm, die Abstände bei flüssigen und festen Körpern 1 bis 2 Hundertmilliontel mm. Die äusserste Wirkungsentfernung eines Moleküls wird zu 6 bis 8 Hunderttausentel mm angegeben, also 5 bis 10mal kleiner, als die Wellenlänge des Lichts, und kleiner als die Entfernung der Gasmoleküle.

Man hat sich nun den Endzustand der Materie in Folge seiner gegenseitigen Anziehung als festen Körper zu denken, den Endzustand des Weltenäthers in Folge seiner gegenseitigen Abstossung als unendlich fein vertheilten Stoff, in dem sich die Himmelskörper bewegen. Wegen der Kleinheit der Atome desselben und der gegenseitigen Abstossung durchdringt er alles Bestehende und umgiebt auch die Atome der Körper mit einer Aetherhülle. Es werden daher in jedem Körper sowohl die Anziehung der Atome oder Moleküle der Materie und die Abstossung der Aetheratome gegenseitig auf einander wirken. Die Materientheilchen schwimmen gewissermaassen frei in der Aetherhülle. Durch diese gegenseitigen Kräfte schwingen die Materientheile ebenso wie die Aethertheile unaufhörlich, und zwar wirkt in festen Körpern die Anziehung der Materie über die Abstossung der ohnehin kleineren Aetheratome, so dass die Atome der Materie um feste Gleichgewichtslagen schwingen. Wenn der Körper flüssig wird, so befindet sich Abstossung und Anziehung im Gleichgewicht, in einer stabilen Gleichgewichtslage; ist er aber gasförmig, so schwimmen die Atome oder Moleküle im Aether und sind der fortschreitenden Bewegung desselben ausgesetzt, in immer weiter und weiter gehender Verdünnung. Sie würden im Weltenäther verschwinden, wenn sie nicht durch die Anziehung der grossen Materie der Erde an dieser festgehalten würden, und zwar desto dichter, je näher sie der Erde sind.

Nun ist Wärme nichts anderes als Schwingungen der Materie: Licht und Elektrizität ist nichts anderes als Schwingungen des Aethers. Die Art, wie wir diese Kräfte empfinden, hängt doch nur von der Beschaffenheit unserer Sinne und Nerven ab. Es wird nun, da die Wärmeschwingungen der Materie auch die Aetherhüllen in Schwingungen versetzen, schon von vornherein klar, dass man in einem Körper durch Wärmezufuhr auch sowohl Licht wie Elektrizität erregen kann. Wahrscheinlich besteht Elektrizität in schnelleren Schwingungen als Licht, und es ist sehr denkbar, dass man durch Einschalten eines Körpers, der den Wellenbewegungen des Aethers einen gewissen Widerstand entgegensetzt, die Elektrizität in Licht verwandeln kann, wie es thatsächlich im Kohlenfaden der Glühlampen geschieht.

Die Moleküle der Materie können durch Wärmezufuhr, d. h. durch äusseren Anlass, in Schwingungen versetzt werden, in desto grössere Schwingungen, je mehr Wärme zugeführt wird, je grösser die Erregung ist. Sie können auch in vermehrte Schwingungen durch Stoss, durch Druck u. dergl. versetzt werden, d. h. die Körper werden dadurch wärmer. Durch vergrösserte Schwingungen, die doch die Wärme darstellen, müssen sich die Moleküle etwas weiter von einander entfernen, und dadurch muss eine Ausdehnung der Körper stattfinden. Bei weiterer Vergrösserung gehen sie in den flüssigen Zustand über, und schliesslich in den gasförmigen.

Die verschiedenen Arten der Molekularbewegung äussern sich auch in verschiedener Weise. Bei festen Körpern schwingen die Moleküle um feste Gleichgewichtslagen. Je grösser die Schwingungen werden, desto grösser wird der Raum, den sie einnehmen, es ist also eine Ausdehnung der Körper die Folge. Sobald sie erkalten, d. h. sobald die Schwingungen der Moleküle wieder geringer werden, zieht sich der Körper auch wieder in seinen früheren Zustand zurück. Wird der Körper durch eine Hülle umgeben, welche Widerstand leistet gegen die Ausdehnung, so wird die vergrösserte Schwingung zur Arbeitsleistung nach aussen, d. h. zur Ueberwindung des Widerstandes verwendet. Wenn aber die Schwingungen im Körper selbst so gross werden, dass sie die Körpertheilchen so weit auseinander drängen, dass sie frei in labilem Gleichgewicht schwingen, so gehört auch hierzu eine gewisse Wärme oder Arbeitsleistung. Man trennt daher Schwingungsarbeit (Zunahme der messbaren Temperatur) von Disgregationsarbeit (Veränderung der Lage der Materientheilchen zu einander, d. h. die gebundene Wärme). Man sieht, dass Wärme und Arbeitsleistung ganz gleiche Dinge sind und dass derselbe Vorgang der Disgregationsarbeit vorhanden ist beim Uebergange aus dem festen in den flüssigen und aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand.

Auf diese Weise finden sich also vier verschiedene Arten von Wärmeschwingungen, oder besser gesagt, sie äussern sich in verschiedener Weise. Zuerst haben wir die Schwingungen im festen Körper, die lediglich zur schwingenden Bewegung der Theilchen selbst aufgewendet werden. Sie sind die innere Wärme des Körpers.

Dann haben wir die Wärme, welche zur Veränderung der Gleichgewichtslagen der Körper dient, wenn sie aus einem Aggregatzustand in den andern übergehen. Dies ist die sogenannte latente oder gebundene Wärme. Sie ist doppelt vorhanden, sowohl beim Uebergang vom festen in den flüssigen Zustand, wie vom flüssigen in den gasförmigen.

Endlich ist die Wärme vorhanden, welche durch Vergrösserung des Volumens nach aussen eine Arbeit verrichten kann, wenn sich ihr

ein Widerstand entgegengesetzt, der überwunden werden muss. Dies ist die äussere Arbeit, welche wir in Wärmemotoren zur Arbeitsleistung benutzen. Wegen des grossen Raumes und der grossen Ausdehnungsfähigkeit der Gase und Dämpfe eignen sich diese besser zur Nutzbarmachung der äusseren Arbeit oder Wärme, als feste oder flüssige Körper.

Wird der umgekehrte Weg beschritten und ein gasförmiger Körper z. B. durch äusseren Druck in einen festen Körper verwandelt, so wird alle im Gas enthaltene Wärme, nämlich die äussere Wärme, die innere latente Wärme und die Schwingungswärme der Flüssigkeit oder Flüssigkeitswärme frei, d. h. der entstehende feste Körper wird um so viel wärmer, die Schwingungen werden sämtlich als innere Wärmeschwingungen auftreten. Wenn wir also ein Gas einem starken Druck, einer starken Kompression aussetzen, so wird es nicht schwer, solche dem flüssigen oder festen Körper zugehende Wärme abzuführen, bis er flüssig oder fest wird, und zwar bei höherer Temperatur als es bei unserer gewöhnlichen Atmosphärenspannung sonst der Fall sein würde.

Da sind wir nun, wohin ich wollte, um begreiflich zu machen, wie der innere Vorgang bei Kompressionen ist.

Ich muss aber noch einige Ergänzungen machen.

Wärmezufuhr, von der ich schon mehrmals gesprochen habe, besteht nur in Mittheilung von Wärmeschwingungen an einen anderen Körper, welcher weniger innere Schwingungen besitzt, d. h. der weniger warm ist. Es kann also nur ein wärmerer Körper einen kälteren erwärmen, ein kälterer einen wärmeren abkühlen, natürlich.

Als absolute Nulltemperatur, diejenige des Weltalls, ist -273°C . ausgerechnet worden. Bis zu diesem Punkte wird jede Materie fest, auch die dünnste, der Wasserstoff. Sie sammelt sich mit anderer Materie in Folge der Anziehungskraft, während der Aether im freien Weltenraum verbleibt und Alles erfüllt.

Die Ausdehnung der festen und flüssigen Körper durch die Wärme ist verschieden, die Ausdehnung der Gasarten ist aber durchweg für jeden Grad $0,003665$ oder $\frac{1}{273}$, d. h. bei Abkühlung bis zu -273° sind die Moleküle der Körper so dicht aneinander gerückt, dass sie keine Bewegung mehr haben können. Es ist der absolute Nullpunkt, und es ist keine Schwingung der Körpertheilchen, also Wärme, mehr vorhanden; es ist kein Licht und Elektrizität, d. h. keine Kapazität für Licht und Elektrizität im Körper mehr vorhanden; dagegen bleibt Licht und Elektrizitätsleitungsfähigkeit im Weltenäther bestehen, während er den absoluten Wärme-Nullpunkt besitzt. Im Körper aber wird naturgemäss, je weiter die Temperatur sinkt und die Körpertheilchen sich nähern, auch die elektrische Kapazität derselben geringer; und es wird auch die chemische Verwandtschaft der verschiedenen Körpertheile geringer.

Es wird angenommen, dass die chemische Affinität zwischen verschiedenen Körperatomen so innig erfolgt, dass sie keinen Aether zwischen sich behalten, dagegen sind die Moleküle der chemischen Verbindung vom Aether umgeben und schwingen in der vorher beschriebenen Weise. Auch die chemische Verwandtschaft wird mit der Abkühlung immer geringer und bei dem absoluten Nullpunkt -273° ebenfalls gleich Null.

Die verschiedenen Körper sind sehr verschieden. Die Grundstoffe haben verschiedene Grösse in ihren Atomen und verhalten sich daher sehr verschieden. Ebenso ist es bei den zusammengesetzten Körpern und deren Molekülen der Fall. Daher werden sie auch bei den verschiedensten Temperaturen flüssig und fest, viele über unserer gewöhnlichen Temperatur, viele erst weit unter derselben. Wasser ist bekanntlich bei unseren gewöhnlichen Verhältnissen flüssig und fest; die sogenannten Kältdämpfe, welche bei Eismaschinen verwendet werden, kann man dagegen bei nicht allzuhohen Spannungen unter gewöhnlicher Temperatur verdichten zum flüssigen Zustand. Bei permanenten Gasen, deren Siedepunkt sehr tief liegt, ist sogar ein starker Druck und niedrige Temperatur nöthig. Bei atmosphärischer Spannung könnte z. B. Kohlenoxydgas bei -193° C. flüssig gemacht werden, Sauerstoff bei -181° , Stickstoff bei -198° , Kohlensäure bekanntlich bei -80° . Stickstoff wird bei -225° C. fest u. s. w.

Es ist schon deutlich gemacht worden, dass unter Druck und Ableitung von Wärme die Kondensation früher herbeigeführt werden kann. Man benutzt dann zur Abführung der Wärme eine Flüssigkeit, welche bei etwas weniger niedriger Temperatur verdampft, als diejenige, deren Siedepunkt wir erreichen wollen, die wir flüssig machen wollen. Der Vorgang ist also folgender: Es wird Kohlensäure z. B. unter starkem Druck mit Hilfe einer besonders guten Kompressionspumpe verdichtet, z. B. bei 60 Atmosphären, und mittels Kühlwasser abgekühlt. Dann wird sie flüssig und in Gefässen aufgehoben, über welche ich noch sprechen werde. Dann wird ebenfalls unter Druck, meistens ähnlich hohem Druck — unter Verdampfung von Kohlensäure — Aethylen oder Stickstoffoxyd verflüssigt. Aethylen C_2H_4 siedet unter atmosphärischem Druck bei -103° C., Stickstoffoxyd bei -153° C. Endlich werden unter fast genau der gleichen Handhabung, unter Druck und Verdampfung von Aethylen oder Stickstoffoxyd die permanenten Gase, wie Sauerstoff, Stickstoff etc. verflüssigt. Es geschieht das so, dass die Presspumpe von der verdampfenden Flüssigkeit mit niedriger Siedetemperatur umgeben ist, welche in guter Umhüllung verdampft und dadurch die komprimirte Gasart abkühlt und verflüssigt. Auf solche Weise soll es Olzewsky gelungen sein Wasserstoff einem Druck von 190 Atmosphären bei -220° C. auszusetzen, wobei sich zwar keine eigentliche Flüssigkeit, sondern nur ein Meniskus erkennen

liess, jedoch soll man deutlich bei Aufhebung des Drucks die Verdampfung erkannt haben. Wasserstoff hat von allen bekannten Körpern die geringste Kohäsion und hat daher auch bis jetzt der Verflüssigung am meisten Schwierigkeiten bereitet.

Als Resultate solcher Versuche zur Verflüssigung kann ich angeben, dass 1 l flüssige Luft etwas mehr wiegt, als Wasser, 1 l flüssigen Stickstoffs etwas weniger. Es hört nach dem absoluten Temperatur-Nullpunkt zu, wie schon erwähnt, jede chemische Thätigkeit auf, dagegen verschwindet der elektrische Leitungswiderstand nach dem Nullpunkt zu.

Die Temperaturmessungen werden mit Wasserstoffthermometern vorgenommen, röhrenförmigen Gefässen, die mit Wasserstoffgas gefüllt sind, und in die zu messende Flüssigkeit eintauchen. Sie sind dann nach aussen durch Alkohol abgeschlossen. Die Ausdehnung und Zusammenziehung des Wasserstoffgases ist für je einen Grad gleich; daher kann denn auch leicht eine Skala angefertigt werden. Zuweilen wird auch zum Messen der Temperaturen ein Galvanometer benutzt, dessen einer Schenkel in die Flüssigkeit taucht. Da der elektrische Widerstand mit dem Sinken der Temperatur abnimmt und mit dem Nullpunkt ebenfalls Null wird, so lässt sich dadurch auch die Temperatur bestimmen.

Hier muss nun noch hervorgehoben werden, dass die permanenten Gase einen Punkt überschreiten, den kritischen Punkt, über welchen hinaus die permanenten Gase nicht mehr verdichtet werden können, auch mit keinem Drucke. Prof. Linde sagt über den Einfluss des kritischen Punktes:

„Denken wir für eine Flüssigkeit in einem graphischen Netz, Fig. 439, die Temperaturen als Ordinaten und die spezifischen Volumina als Abscissen aufgetragen, so entsteht eine Kurve AB , welche ein Wachstum des Volumens mit der Temperatur zeigt, und zwar ein um so rascheres Wachsen, je näher die Temperatur der Flüssigkeit dem kritischen Punkte liegt. Bei einer gewissen Temperatur t , welche tiefer liegt, als die kritische Temperatur, sei das Volumen des gesättigten Dampfes dieser Flüssigkeit AC . Bei zunehmender Temperatur nimmt bekanntlich die Dichtigkeit des gesättigten Dampfes zu, ihr spezifisches Volumen nimmt ab. Wir erhalten eine Kurve CB . Die Kurve AB und BC müssen sich also in einem gewissen Punkte schneiden. Diejenige Temperatur t_k nun, bei welcher dieses geschieht, heisst die kritische Temperatur eines Körpers, und der Druck, welcher dem gesättigten Dampf bei dieser Temperatur entspricht, heisst der kritische Druck. Nur bei solchen Uebergängen vom flüssigen zum

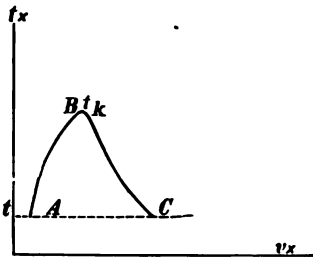


Fig. 439.

dampfförmigen Zustand, welche unterhalb *B* liegen, ist man im Stande, eine Trennung der Flüssigkeit vom Dampf durch einen deutlichen Meniskus wahrzunehmen, bei Temperaturen oberhalb der dem Punkte *B* entsprechenden Temperatur kann also nicht eigentlich mehr von einem Uebergang aus der Gasform in die flüssige Form die Rede sein. Während bei Ammoniak die kritische Temperatur bei $+131^{\circ}$ C. mit 113 Atmosphären, für Kohlensäure bei $+32^{\circ}$ C. mit 61 Atmosphären liegt, so findet sich dieselbe für flüchtigere Körper viel tiefer, und theilweise weit unter dem Gefrierpunkt des Wassers, z. B. für Sauerstoff bei -118° mit 50 Atmosphären.

Wenn wir also den Sauerstoff auch einem beliebig hohen Druck aussetzen, so hilft uns das nichts zur Erzielung einer Verflüssigung, so lange die Temperatur höher ist als -118° C.“ Es muss daher der Sauerstoff dadurch bis unter -118° abgekühlt werden, dass eine Flüssigkeit verdampft wird, welche durch die Verdampfung eine unterhalb -118° liegende Temperatur liefert. Mittels verdampfenden Aethylens können Temperaturen von -140° C. erreicht werden, so dass schon bei Spannungen von 20 bis 30 Atmosphären mit dessen Hülfe Sauerstoff flüssig gemacht werden kann. Aethylen aber wird schon mittels Verdampfung von Kohlensäure oder Ammoniak kondensirt.

Die Handhabung habe ich bereits beschrieben, will indessen sie nochmals beschreiben, weil sie jetzt deutlicher werden wird. Denkt man Aethylen in einer Presspumpe kontinuierlich komprimirt und gleichzeitig durch Verdampfung flüssiger Kohlensäure von aussen abgekühlt, dann wird das Aethylen flüssig, wie in Eismaschinen bei jedem Kolbenstosse das Ammoniak oder die Kohlensäure verflüssigt wird. Dieses flüssige Aethylen wird in den Mantel einer andern Presspumpe geführt, in welcher z. B. Sauerstoff komprimirt wird. Durch Verdampfung des Aethylens bei Temperatur von unter -118° wird der komprimirte Sauerstoff soweit abgekühlt und wird bei dem Druck der Presspumpe flüssig, und mit Hülfe derselben in ein festes Gefäss geleitet und darin angesammelt. Die verdampfenden Hilfsflüssigkeiten werden übrigens in sogenannten Kompressoren aufgefangen und dann wieder zur Kondensation in ihre Presspumpen eingeleitet. Auf diese Weise wird der Kreislauf in der Fabrikation hergestellt.

Eine derartige Anstalt existirt in Berlin, geleitet von Prof. R. Pictet. Es werden dort auch eine Anzahl flüchtiger Stoffe mit Hülfe der Kälte in besonderer Reinheit dargestellt, und zwar unter Benutzung der Thatsache, dass in der Kälte die chemische Verwandtschaft abnimmt. Die Stoffe werden bei niedriger Temperatur verdampft und dann bei noch niedrigerer Kälte kondensirt, d. h. sie werden bei sehr niedrigen Temperaturen destillirt. Bei der geringen Temperatur trennen sich Stoffe wegen der geringeren chemischen Verwandtschaft viel leichter von einander als bei

hoher, und es wird bei dieser Destillation auch die sonst viel vorkommende Zersetzung vermieden. Das Resultat ist die Herstellung der Stoffe in viel grösserer Reinheit, als es sonst gelingt sie herzustellen, und zwar werden auf diese Weise pharmazeutische Stoffe und Materialien für Parfümerien fabricirt. Chloroform u. dergl.

Die Figur 440 stellt eine Anzahl von Kurven verschiedener Dämpfe und ihrer Flüssigkeiten dar nebst dem kritischen Punkt. Es geht daraus

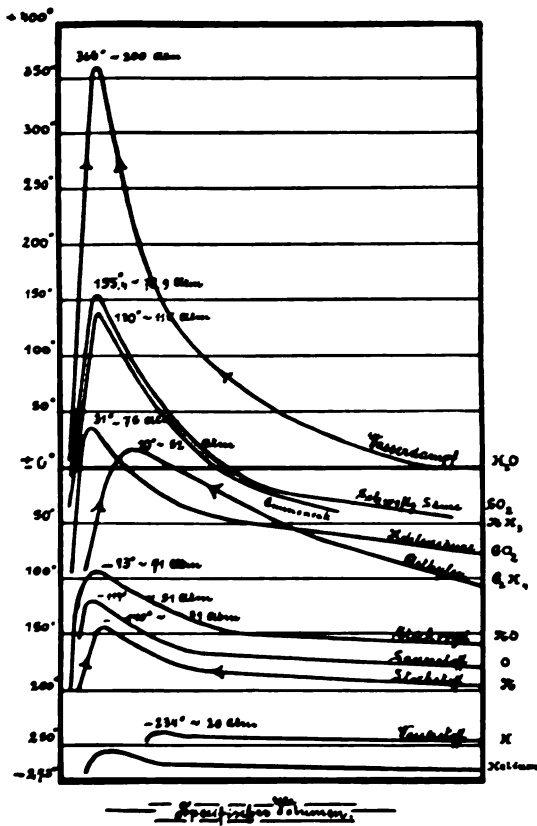


Fig. 440.

die Uebereinstimmung gewisser Bedingungen der verschiedenen Dämpfe hervor, und man erkennt daraus ohne Weiteres die Aehnlichkeit der Bedingungen mit denen des Wasserdampfes. Die kritischen Temperaturen und Spannungen sind bei jedem Dampfe bezeichnet. Unten auf der Figur sind die bisher als permanente Gase bezeichneten Dämpfe. Ausserhalb der Kompressionslinie befinden sich die Dämpfe im Zustande der Ueberhitzung, oberhalb des kritischen Punktes im Gaszustande. Zwischen beiden Linien ist der gesättigte Dampf mit Flüssigkeit gemischt. Aus der Darstellung dürfte leicht klar werden, dass Gase erst durch Kompression flüssig gemacht werden können, wenn sie gleichzeitig bis unter die kritische Temperatur ab-

gekühlt werden. Oberhalb derselben gelingt die Verflüssigung durch keinen noch so grossen Druck. Daher die Schwierigkeit der Verflüssigung permanenter Gase, bei denen bedeutende Kälteleistungen erforderlich sind, um die Verflüssigung zu erreichen.

Es hat sich eine andere Industrie entwickelt zur Darstellung von Sauerstoff im fabrikmässigen Betriebe. Derselbe wird zwar nicht in flüssigem Zustande verkauft, sondern in stark komprimirtem gasförmigen Zustande, bei 100 bis 200 Atmosphären, aber die ganze Sache ist doch

sehr bemerkenswerth. Die Trennung von Sauerstoff und Stickstoff nebst Nebenbeimischungen aus der Luft begegnet grossen Schwierigkeiten im Grossen, weil die Kondensationspunkte beider sehr nahe an einander liegen, Stickstoff -198° und Sauerstoff -182° . Auch trennen sich beide dann noch sehr schwer von einander. Es ist daher ein anderer Weg zur Abscheidung des Sauerstoffs aus der Luft beschritten worden, der höchst eigenthümlich ist, und der in der Eigenschaft des Aetzbaryt liegt, bei etwa $+500$ bis 600° C. Sauerstoff aufzunehmen und bei etwa 800° wieder abzugeben. Das Baryumoxyd BaO hat eben die Eigenschaft, in der Hitze Sauerstoff aufzunehmen und zu Baryumsuperoxyd BaO_2 zu werden. Bei weiterer Erwärmung zerfällt es wieder und giebt den Sauerstoff wieder ab. Dieser eigenthümliche Vorgang ist von Herrn Th. Elkan in Berlin zu fabrikmässigem Betriebe ausgebeutet worden. Es kommt darauf an, und macht das Verfahren ziemlich schwierig, dass man alle Unreinigkeiten, wie Kohlensäure, Wasserdampf und organische Bestandtheile, aus der Luft entfernen muss, weil diese Substanzen die beständige Benutzung derselben Mengen Aetzbaryt verhindern würden.

Die Luft wird in grossen gusseisernen Trockenkasten mit Aetznatron gereinigt, das Kohlensäure und Wasserdampf aufnimmt, und auch den Staub zurückhält. Dann streicht die gereinigte Luft durch den Ofen, dessen Retorten mit Baryumoxyd gefüllt sind, und die so weit erhitzt sind, dass dasselbe den Sauerstoff aufnimmt und sich in Baryumsuperoxyd verwandelt. Die Heizung des Ofens geschieht mittels Generatorfeuerung. Mittels einer Luftpumpe wird Luft den Retorten zugepumpt. Dadurch werden sie zuerst abgekühlt, so weit, dass das BaO Sauerstoff aufnehmen kann. Allmählich steigert sich dann die Wärme in kurzer Zeit so weit, dass das gebildete BaO_2 schon wieder seinen Sauerstoff abgeben kann. Nun wechselt das Spiel der Pumpe und sie saugt den Sauerstoff ab, statt früher Luft einzublasen. Dieses Spiel wechselt in gewissen Zwischenräumen ganz selbstthätig, unausgesetzt, Tag und Nacht, und befördert den gewonnenen Sauerstoff in ein Gasometer. Die Pumpensteuerung klappt nach einem gewissen Zeitraum um und macht die Pumpe dann zur Saugpumpe statt Druckpumpe u. s. f. Die Generatorfeuerung brennt ruhig weiter fort. Die Retorten werden durch Zublasen von Luft zuerst bis 500° abgekühlt, worauf allmählich durch die Generatorfeuerung die Retorten bis 800° erwärmt werden, unter Aufnahme von Sauerstoff in das Baryumoxyd. Dann klappt die Pumpensteuerung um, der Sauerstoff wird abgesaugt u. s. f.

Der gewonnene Sauerstoff ist vollkommen rein und wird dann mittels Druckpumpen zuerst auf 10 Atmosphären und alsdann mit einer zweiten Luftpumpe auf 100 Atmosphären während gleichzeitiger Abkühlung zusammengepresst und in schmiedeeisernen oder Mannesmann- oder Stahl-

flaschen aufbewahrt. Erstere werden geschweisst, die Mannesmannröhren gewalzt in der bekannten Manier, die letzteren werden aus einer Platte wie ein Topf geformt, und auf 250 bis 350 Atmosphären gewöhnlich probirt.

Auf diese Weise hat man in einer 10 Literflasche z. B. 1000 l reinen Sauerstoff, der zu mancherlei benutzt wird. Erst das Vorhandensein dieses reinen Sauerstoffs eröffnet die Wege für dessen Verwendung. Es ist bekannt, wie Sauerstoff zum Bleichen zu verwenden ist. Es wird zur Herstellung wasserfreier Schwefelsäure, sowie für verschiedene chemische und metallurgische Prozesse benutzt, zu Gebläsen und Löthzwecken, als Knallgasgebläse etc., Zirkonbrenner zum Leuchten, die wie die bekannten Drummond'schen Kalklichter Licht geben. Ferner zum Glasschmelzen an den Kanten der Platten und was dergleichen mehr ist.

Der Sauerstoff in dieser Form soll ferner verwendet werden in der Bijouterie, ferner in der Maschinenfabrik von Cail in Paris beim Löthen und Schweißen, besonders von Kupfer, und beim Fabriciren von überlappten Röhren werden unvollkommene Schweissstellen mit Hülfe des Sauerstoffgebläses nachgebessert.

In England wird das Leuchtgas damit gereinigt, um es von dem dort verbotenen Schwefelgehalt zu befreien. Alsdann soll der Sauerstoff in der Leinölfabrikation zur Herstellung schnell trocknender Firnisse, auf deren Qualität er günstig einwirken soll, gebraucht werden, ebenso für Herstellung von Wachstuch und Linoleum. Zum Bleichen in Papierfabriken und Spinnereien und zum Belüften von Würze in Brennereien und Brauereien wird er sehr empfohlen. In der Hefefabrikation wird ein Resultat von 30 Pfund Hefe pro Centner Getreide in Aussicht gestellt, sonst 12 Pfund, und bei Grünmalzluflhefe nur 20 Pfund. In Paris werden jetzt schon Getränke wie Wasser, Wein und Milch mit Sauerstoff gesättigt in den Handel gebracht, zum Zwecke der Hygiene, um die Mikroben zu tödten u. s. w.

Alle Körper machen bei abnehmender Temperatur die drei Aggregatzustände durch, vom gasförmigen zum flüssigen und festen. Sie unterscheiden sich nur darin von einander, dass diese Umwandlungen jedes Körpers bei anderen Wärmegraden sich ereignen. Die meisten Körper kennen wir in unserer gewöhnlichen Luftwärme als fest oder flüssig. Ihr gasförmiger Zustand tritt erst bei höheren Temperaturen ein. Andere Körper, wie Luft, Wasserstoff etc., die sonst für permanente Gase gehalten wurden, kennen wir nur in gasförmigem Zustande. Ihre Verflüssigung ist nur bei niedrigen Temperaturen zu erreichen, zum Theil bei sehr niedrigen, bei einigen erst in der Nähe des absoluten Temperaturnullpunktes. Will man die Gase flüssig oder fest machen, so müssen zuvörderst diese niedrigen Temperaturen erzeugt werden.

Es ist wohl zu verstehen, dass im Weltall, wo nur Aether sich befindet, während die Materie sich in Folge ihrer Anziehungskraft zu Körpern gesammelt hat, keine Wärme sein kann, die ja nur in Schwingung der Materientheilchen besteht. Ebenso ist ein Spannungsvacuum dort vorhanden, weil der Druck ja auch nur eine Eigenschaft der Materienkräfte ist.

Allgemein bekannt ist, dass wir, die wir uns innerhalb der Materie befinden, mit unseren Hilfsmitteln nicht im Stande sind, ein vollkommenes Vacuum zu erzeugen, sondern dass wir ihm nur nahe kommen können. Dasselbe ist bezüglich der Temperatur zu erwarten. Wir werden niemals den absoluten Nullpunkt erreichen, sondern können ihm nur nahe kommen, werden aber im Stande sein, fast alle Gase zu verflüssigen mit Hülfe künstlicher Erzeugung sehr niedriger Temperatur.

Nun ist Thatsache, dass im Momente des Uebergangs aus dichterem Aggregatzustande in den dünneren eine bestimmte Wärme aufgenommen wird, die durch das Thermometer nicht messbar ist. Sie wird nämlich verwendet zu der grösseren Schwingungsarbeit der Theilchen im dünneren Aggregatzustande. Umgekehrt wird diese Wärme frei beim Uebergange in den dichteren Aggregatzustand.

Bei Wasser sind diese Verhältnisse ja bekannt, das im Momente der Verdampfung etwa 550 Wärmeeinheiten pro Kilo Wasser als gebundene oder latente Wärme aufnimmt, und beim Uebergang zu Eis dagegen etwa 79 Wärmeeinheiten abgibt. Ganz gleichen Verhältnissen unterliegen die anderen Substanzen, nur unterschieden durch die Temperaturen, bei denen die Uebergänge sich vollziehen, und die Menge der latenten Wärme. So siedet unter atmosphärischem Druck z. B. Wasser bei $+100^{\circ}$ C., Ammoniak bei -33° C., Kohlensäure bei -80° C. Bei den schwer coërciblen Gasen, die man noch immer vielfach als permanente zu bezeichnen pflegt, liegt der Kondensationspunkt noch tiefer, zum Theil sehr tief. Beim Wasserstoff liegt er nur verhältnissmässig wenig über dem absoluten Nullpunkt, bei dem neu entdeckten Helium noch unter dem des Wasserstoffes.

Es giebt für jeden Körper eine höchste Temperaturgrenze für die Verflüssigung, über welche hinaus sie in Gas übergehen. Kondensation ist dann nur möglich unter Verringerung der Temperatur bis unter diese Grenze, die man deshalb kritische Temperatur nennt. Dieser kritischen Temperatur entspricht ein bestimmter Druck, der kritische Druck, der erforderlich ist zur Kondensation. Je weiter die Temperatur sinkt, desto geringer kann der Druck sein, der die Verflüssigung herbeiführt. So giebt es endlich eine niedrige Temperatur, bei welcher auch unter gewöhnlichem Atmosphärendruck die sogenannten permanenten Gase verflüssigt werden können. Bei noch weiterem Sinken der Temperatur kann die Verflüssigung sogar im Vacuum erfolgen. Der Erstarrungspunkt (fester Zustand) liegt

dann noch tiefer, bis endlich beim absoluten Nullpunkt (-273°C .) alle Körper auch im Vacuum des Weltalls fest sind.

Ueber die kritische Temperatur hinaus hilft keine Spannungserhöhung, um Verflüssigung herbeizuführen, und keine Verringerung der Dichtigkeit, vielmehr erlangt man dadurch nur gespannte Gase von erhöhter Temperatur. Wenn diese durch plötzliche Ausströmung oder unter Arbeitsleistung expandiren, so ist allerdings möglich, dass sie zur Expansion oder zur Arbeitsleistung innere Wärme gebrauchen. Falls sie gegen Aufnahme von Wärme von aussen durch Isolirung geschützt sind, so entnehmen sie einem Theile der Gase die zur Expansion erforderliche innere Wärme und kühlen diesen Theil bis unter die kritische Temperatur so weit ab, dass seine Verflüssigung möglich ist. Dies pflegt unter Nebelbildung zu geschehen und wurde

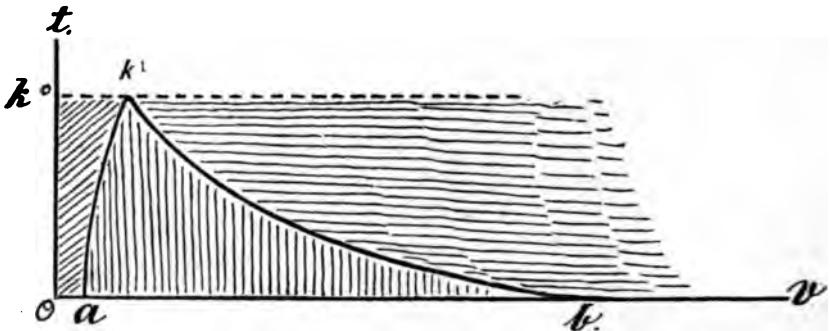


Fig. 44L.

früher fälschlich für Verflüssigung durch weit ausgedehnte Kompression gehalten. Erst durch Andrews und de Waales sind vor etwa 15 Jahren diese Verhältnisse klar geworden.

Der kritische Punkt lässt sich für jede Substanz durch ein Diagramm konstruiren. Stelle in einem Koordinatensystem die Ordinate die Temperatur t dar, die Abscisse aber das spezifische Volumen v einer Gewichtseinheit, etwa eines Kilo, und konstruire man von links her die entsprechende Kurve a bis k der Flüssigkeit der Substanz. Von rechts her konstruire man die Kurve b bis k der trocken gesättigten Dämpfe der Substanz. Während das Volumen der Flüssigkeit mit Zunahme der Temperatur zunimmt, verringert sich das Volumen der Dämpfe mit zunehmender Temperatur und Spannung, entsprechend dem Kurvenzweige b bis k . Beide Kurvenzweige a bis k und b bis k haben einen Schnittpunkt, den kritischen Punkt. Die Linie k° bis k bis k' ist die kritische Temperatur. Was über dieser Temperatur liegt, stellt den gasförmigen Zustand der Substanz vor. Die Fläche k° k a o zeigt den Zustand der Flüssigkeit bei den Temperaturen o bis k° , die Linie b k den Zustand des trocken gesättigten Dampfes, die Fläche a b k den Zustand des gesättigten, bzw. mit Flüssigkeit gemischten Dampfes bei den Temperaturen o bis k° , und b k k' ist

überhitzter Dampf, der über die Linie $k k'$ hinaus in die Gasform übergeht. Es ist bekannt, dass die gebundene Wärme trocken gesättigter Dämpfe bei steigender Temperatur abnimmt. Sie sinkt bis zur kritischen Temperatur auf Null herab, so dass die äussere messbare Wärme des Dampfes gleich derjenigen der Flüssigkeit bei der kritischen Temperatur wird. Da auch die Volumina beider gleich werden, so gehen sie eben in einander über und verwandeln sich bei entsprechender Spannung in Gas. Der kritische Punkt ist also der Grenzpunkt der Flüssigkeit (nebst gesättigtem Dampf) und dem Gas.

Nachstehende Tabelle*) giebt für verschiedene schwer coërcible Gase in der zweiten Spalte die kritische Temperatur an, in der ersten Spalte den dazu gehörigen kritischen Druck, in der dritten Spalte den Siedepunkt bei atmosphärischer Spannung, in der letzten Spalte den Erstarrungspunkt. Siehe auch Fig. 440.

	Kritischer Druck in Atm.	Kritische Temperatur in Grad C.	Siedepunkt (Kondensationspunkt) bei atm. Spannung in Grad C.	Erstarrungspunkt in Grad C.
Wasser	200	+ 365 C.	+ 100	0
Ammoniak	115	+ 130 D.	— 33	— 77
Stickoxyde	75	+ 35 D.	— 89	
Kohlensäure	75	+ 31	— 80	— 56 bei 5 Atm.
Aethylen	52	+ 10	— 102	— 169
Stickoxyde	71	— 93 O.	— 154	— 167
Sauerstoff	51	— 119 O.	— 182	
Atm. Luft	39	— 140	— 191	
Stickstoff	35	— 146 O.	— 194	— 214
Wasserstoff	20	— 234 O.	— 243	

(Festgestellt C. durch Cailletet, D. durch Dewar, O. durch Olszewski.)

Die Tafel zeigt, dass z. B. Wasserdampf, der bis über 365° erhitzt oder überhitzt worden ist, nicht anders kondensirt werden kann als durch Abkühlung unter 365°. Das ist freilich auch durch Expansion unter Arbeitsleistung möglich, wenn in Dampfmaschinen, die mit überhitztem Dampf arbeiten, die Abkühlung in Folge der Expansion erfolgt.

Die dritte Spalte zeigt, welche niedrigen Temperaturen bei atmosphärischer Spannung nöthig sind, um die betreffenden Substanzen zu verflüssigen, resp. welche niedrigen Temperaturen durch ihre Verdampfung bei atmosphärischer Spannung erreicht werden können; im Vacuum noch tiefere Temperaturen.

Die zweite Spalte zeigt, wie weit die Temperaturerniedrigung mindestens nöthig ist, um die Verflüssigung herbeizuführen, und die

*) Professor C. Linde, Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt, 1896, Heft 46 bis 48.

erste Spalte zeigt den dazu erforderlichen Druck. Es genügt stets geringerer Druck bei niedrigerer erlangter Temperatur.

Wenn atmosphärische Luft flüssig gemacht werden soll, so wird sie nach der Tabelle bis mindestens -140° C. abgekühlt werden müssen, und dann gehört dazu ein Druck von mindestens 39 Atmosphären. Wird sie weiter abgekühlt als -140° , so genügt geringerer Druck.

Solche niedrigen Temperaturen sind nun bisher sowohl im Laboratorium wie im Pictet'schen Institute in Berlin durch gewöhnliche mit verschiedenen Stoffen hinter einander arbeitende Kompressionskältemaschinen erzeugt worden. Auf solche Weise haben auch Cailletet, Dewar und Oslzewsky ihre oben zum Theil mitgetheilten Feststellungen gemacht.

Meistens wird zuerst mittels einer Kohlensäurekältemaschine hergestellte flüssige Kohlensäure bei niedriger Temperatur verdampft und mit deren Hülfe das im Kondensator einer mit Aethylen arbeitenden Kältemaschine komprimirte Aethylen abgekühlt und verflüssigt. Wenn dieses flüssige Aethylen nun in dem Verdampfer der Maschine verdampft, so wird bei Pictet schon eine Temperatur von -105° erreicht. In der dritten, mit Sauerstoff arbeitenden Kältemaschine wird nun mit Hülfe dieses verdampfenden Aethylens und der dadurch erreichten niedrigen Temperatur der Sauerstoff bei etwa 35 bis 40 Atmosphären Spannung verflüssigt. Durch die Verdampfung des Sauerstoffes lässt sich nun schon eine sehr niedrige Temperatur erreichen, obwohl es doch noch erst gelungen ist, den Wasserstoff, den dünnsten aller bekannten Stoffe, in sehr beschränktem Maasse zu verflüssigen. Im Laboratorium geschieht die Verdampfung des Sauerstoffes zur Erreichung ganz niedriger Temperaturen (-243° sind bei Verflüssigung von Wasserstoff erreicht) im Vacuum unter der Luftpumpe.

Diese Proceduren hat man bisher nur als Laboratoriumsarbeiten bezeichnen können, und auch die grossen Leistungen des Pictet'schen Instituts haben in Bezug auf die Gase, die wir bis vor kurzer Zeit als permanente bezeichneten, kaum einen anderen Charakter. Die Verflüssigung von Luft kann bei diesem Verfahren in nur kleinen Dosen geschehen, während durch den Linde'schen Apparat man doch schon im Stande ist, die Luft in einem Tage centnerweise zu verflüssigen.

In den jetzt allgemein gebräuchlichen Kältemaschinen (den Kompressions- und Verdampfungsmaschinen) wird die Aufnahme der inneren latenten Wärme bei der Verdampfung benutzt, um den abzukühlenden Körpern Wärme zu entziehen, d. h. sie abzukühlen. Die Kaltluftmaschinen erzeugen Kälte, indem nach der Kompression der Luft äussere messbare Wärme durch Kühlwasser entzogen wird. Wenn sie dann wieder unter Leistung von Arbeit expandirt, so sinkt ihre Temperatur um so viel unter die Anfangstemperatur, als während der Expansion Wärme in Arbeit verwandelt wurde.

Nun gibt es noch eine dritte Wärmeart, die in der Wärmelehre äussere latente Wärme genannt wird. Es ist diejenige, die der Disgregationsarbeit entspricht. Bei Ausdehnung von Gasen, wobei die Moleküle ihre Entfernung von einander vergrössern, dient diese Wärme zur Ueberwindung der Anziehungskraft der Moleküle. Ist das Gas so gut nach aussen isolirt, dass es von aussen keine Wärme aufnehmen kann, so muss diese erforderliche latente Wärme dem sich ausdehnenden Gase selbst entnommen werden, d. h. es wird abgekühlt. Diese Thatsache haben wir eigentlich immer gekannt, sie ist aber vor etwa 30 Jahren von Thomson und Joule wissenschaftlich erörtert und von ihnen festgestellt worden, dass für jede Atmosphäre Ausdehnung die Abkühlung etwa $\frac{1}{4}^\circ$ beträgt. Sie haben eine Formel dafür aufgestellt zur genauen Berechnung der Abkühlung unter allen Verhältnissen.

Diese dritte Art der Möglichkeit der Abkühlung von Gasen ist nun von Professor Linde benutzt worden, um seinen kontinuierlich arbeitenden Apparat zur Verflüssigung von Gasen zu konstruiren. Die Beschaffenheit und Wirkungsweise mag hier kurz beschrieben werden. Es wird in einem Apparate, der nach aussen gegen Wärmeaufnahme gut isolirt ist, Luft mittels einer Luftpumpe stark comprimirt, dann bis auf die Anfangstemperatur durch Kühlwasser abgekühlt,

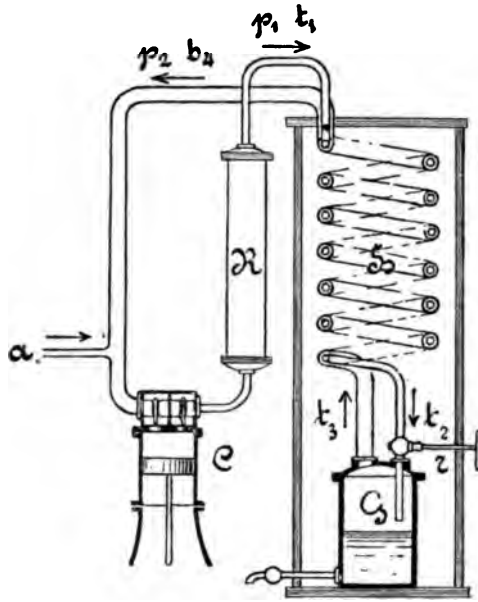


Fig. 442. Linde's Apparat zur Verflüssigung von Gasen. *)

*) Linde selbst beschreibt seinen vorstehend schematisch dargestellten Apparat wie folgt. Durch einen Kompressor (C) wird das zu verflüssigende Gas — es sei als solches zunächst atmosphärische Luft ins Auge gefasst — vom Drucke p_2 auf den höheren Druck p_1 gebracht. Die Kompressionswärme wird alsdann bei dem Durchgang durch einen Kühler (B) an Brunnenwasser oder an einen sonstigen für Wärme aufnahmefähigen Körper von geeigneter Temperatur abgegeben und hierdurch die Temperatur der comprimirtten Luft auf t_1 reducirt. Liesse man diese Luft nun unmittelbar durch ein Drosselventil ausströmend von p_1 bis p_2 expandiren, so träte die der Formel

$$\delta = 0,276 (p_2 - p_1) \left(\frac{273}{T} \right)$$

entsprechende Abkühlung ein. Um aber die so gewonnene Temperaturerniedrigung auf diejenige Luft zu übertragen, welche demnächst zum Ausströmen gelangen soll, und um

aber so, dass die durch die Luftpumpe erzeugte Spannung erhalten bleibt. Dann strömt die gespannte Luft in einem grösseren Raume aus, der mit der Saugseite der Luftpumpe verbunden ist, expandirt dort und kühlt für jede Atmosphäre geringerer Spannung um etwa $\frac{1}{4}^{\circ}$ ab. In einem Gegenstromapparate wird nun mittels der gekühlten und expandirten, auf ihrem Wege nach der Saugseite der Luftpumpe befindlichen Luft die komprimierte Luft abgekühlt, so dass ihre Temperatur beim Beginne der Expansion bereits erheblich der niedrigen Temperatur nahe kommt bis zu der, die eben vorher expandirt war. Auf diese Weise sinkt die Lufttemperatur kontinuierlich immer weiter, bis sie unter den kritischen Punkt gelangt und die Verflüssigungstemperatur erreicht. In dem Linde'schen Apparate wird auf etwa 190 Atmosphären komprimirt und auf etwa 16 Atmosphären expandirt, so dass theoretisch jede Charge um etwa $\frac{190-16}{4} = 43\frac{1}{2}^{\circ}$ kühler wird. Eine Reihe von Chargen hinter einander müssen also eine erhebliche Abkühlung herbeiführen.

Die erste Abkühlung der auf 190 Atmosphären komprimierten Luft geschieht mittels Kühlwasser in einem Gegenstromapparate, der etwa eingerichtet ist wie die Kondensation der Kältemaschinen, und die komprimierte Luft wird darin auf etwa $+20^{\circ}$ abgekühlt. Das ist dann als die Anfangstemperatur in dem eigentlichen Verflüssigungsapparate zu betrachten.

Die weitere Abkühlung der komprimierten Luft erfolgt nun in einer Rohrschlange, die aus zwei ineinander gesteckten Röhren gewunden ist. In der innern Schlange streicht die komprimierte Luft nach der Expansionskammer, während von dort die expandierte gekühlte Luft in dem Zwischenraume zwischen innerer und äusserer Rohrschlange auf entgegengesetztem Wege sich bewegt. Dadurch ergibt sich zwischen beiden ein Temperatur-

hierdurch eine weitere Abkühlung zu erzielen, ist zwischen den Kühler und das Drosselventil (r) ein Röhrensystem (H) eingeschaltet, durch welches einerseits die komprimierte Luft dem Drosselventil zuströmt und andererseits (in entgegengesetzter Richtung) die ausgeströmte Luft zum Kompressor zurückkehrt und denselben mit einer Temperatur t_4 erreicht, welche der Temperatur t_1 um so näher liegt, je vollkommener der Gegenstromapparat den Wärmeaustausch vollzieht. Da die Temperatur t_2 der ankommenden Luft stets von der durch Ausströmen auf t_3 abgekühlten Luft erniedrigt wird und da t_3 stets um δ kleiner bleibt als t_2 , so ist es einleuchtend, dass von Ingangsetzung der Maschine an die beiden Temperaturen t_2 und t_3 fortwährend sinken müssen, und zwar so lange, bis entweder durch eine kompensierende Wärmezufuhr von aussen oder durch Freiwerden von Wärme im Innern der Beharrungszustand herbeigeführt wird. Das letztere ist der Fall, wenn in dem Sammelgefäss (G) die Verflüssigung der Luft eintritt, wenn also die dem Drucke p_2 entsprechende Sättigungstemperatur erreicht ist. Zur Füllung der Maschine mit Luft und zur Erhaltung der Drücke p_1 und p_2 während der Temperatursenkung und der Verflüssigung müssen, etwa durch einen zweiten Kompressor (bei a), entsprechende Luftmengen in den Kreislauf eingeführt werden.

ausgleich, und die komprimirte Luft gelangt mit geringerer Temperatur zur Expansion, wie beschrieben.

Endlich wird dann die Temperatur von -160° erreicht, die laut obiger Tabelle ungefähr der Kondensationstemperatur bei 16 Atmosphären Spannung entspricht, und die Luft beginnt flüssig zu werden und sich in der Expansionskammer zu sammeln.

Sobald dies erreicht ist, wird es nöthig, frische Luft zuzuführen. Zuerst wird sie durch Ueberleitung über Chlorkalium von Wasser befreit, was nöthig ist, damit Kanäle und Ventile nicht zufrieren, und dann wird sie mit der übrigen Luft komprimirt und macht den beschriebenen Lauf. Der Apparat ist vollkommen in Holzkästen gut verwahrt und alle Theile mit Schafwolle gut gegen Wärmeaufnahme isolirt. Immerhin kann der Beharrungszustand erst eintreten, wenn auch die ganze Masse des Apparates auf die niedrige Kondensationstemperatur abgekühlt worden ist. Es ist also klar, dass der Beharrungszustand, bei dem die Verflüssigung regulär sich vollzieht, um so schneller eintreten wird, je geringer die Masse ist. Anfangs wurden 15 Stunden gebraucht, bis dieser Zustand eintrat, jetzt ist die Zeit durch Verbesserungen und Massenreduktion bereits auf 2 Stunden herabgesunken.

Wenn statt des Kühlwassers zur Vorkühlung verdampfende flüssige Kohlensäure angewendet wird, so sinkt die Anfangstemperatur erheblich, und die Zeit bis zur Erlangung des Beharrungszustandes wird noch weiter abgekürzt.

Stündlich werden jetzt mit dem in der Urania in Berlin befindlichen Apparate $4\frac{1}{2}$ l flüssige Luft erzeugt, was in 12 Stunden etwa 54 kg ausmacht, denn die flüssige Luft hat fast genau gleiches Gewicht mit Wasser. Der Apparat wiegt jetzt im Ganzen 60 kg, während das Gewicht des ersten Apparates 1300 kg betrug. In diesem Umstande liegt hauptsächlich die Abkürzung der Zeit von 15 auf 2 Stunden bis Eintritt des Beharrungszustandes, und es werden jetzt mit einer Pferdekraft pro Stunde 0,4 bis 0,5 l Flüssigkeit mit 50 Proc. Sauerstoffgehalt hergestellt.

Luft ist ein Gemisch von etwa $\frac{3}{4}$ Stickstoff und etwa $\frac{1}{4}$ Sauerstoff, mit geringen Mengen Argon, Helium und Kohlensäure, die aber ausser Betracht bleiben können. Die Kondensationspunkte von Stickstoff und Sauerstoff liegen laut Tabelle 12° auseinander (-194° und -182° bei atm. Spannung). Trotzdem kondensiren erfahrungsmässig solche Gasgemische bei entsprechender mittlerer Temperatur $\frac{(3 \times 194) + 182}{4} = 191^{\circ}$, wie in der Tabelle angegeben ist.

Anders verhalten sich solche Gemische bei der Verdampfung. Es ist bekannt, dass in allen Destillationskolonnen die Scheidung verschiedener Stoffe fraktionsweise erfolgt durch Herstellung der entsprechenden Ver-

dampfungstemperatur. Dieselbe Erscheinung haben wir hier, indem der Stickstoff wegen tiefer liegendem Verdampfungspunkt früher verdampft als Sauerstoff. Es gelingt daher durch Anbringung zweier doppelter Rohrschlangen, den früher verdampfenden Stickstoff durch die eine doppelte Rohrschlange zu leiten und in dem Apparat circuliren zu lassen, während in der anderen flüssiger Sauerstoff sich bewegt. Das Resultat des Vorganges ist also eigentlich mehr Herstellung flüssigen Sauerstoffes als Luft, denn die Flüssigkeit besteht zu mehr als drei Viertel aus Sauerstoff und nur zu knapp ein Viertel aus Stickstoff.

Das Gewicht ist etwa wie Wasser, die Farbe ein wenig bläulicher. Es ist auch leicht einzusehen, dass man bei genügender Menge Wasserstoffes mit diesem Apparat im Stande sein wird, auch diesen zu verflüssigen und nahe an den absoluten Nullpunkt der Temperatur zu gelangen.

Die Bedeutung dieser Apparate für das praktische Leben ist vorläufig noch nicht abzusehen. Jedenfalls ist aber klar, dass flüssiger Sauerstoff grosse Bedeutung gewinnen muss z. B. zur Erzeugung grosser Hitzegrade in Feuerungen und zu Leuchtflammen, so grosser Hitze und Lichteffekte vielleicht, wie bis jetzt noch unbekannt, und zwar in Wasserstoff-, Leuchtgas-, Kohlenoxyd-, Acetylenflammen. Durch das Drummond'sche Kalklicht und Zirkonlicht können mit Hülfe des flüssigen Sauerstoffes vielleicht unberechenbare Erfolge erzielt werden, die alles bisher Bekannte übertreffen. In der chemischen Industrie kann der flüssige Sauerstoff sehr grosse Bedeutung gewinnen, ebenso in der Metallurgie und Technik, indem strengflüssige Metalle, wie Stahl, Schmiedeeisen, Gold, Platin, zum schnellen Schmelzen gebracht werden können. Im Hochofenprozess und in der Gussstahlfabrikation kann er grosse Vortheile bringen, ebenso in der Glasfabrikation u. s. w.

Allerdings ist zu bedauern, dass der flüssige Sauerstoff bis jetzt noch nicht transportirt werden kann. Dazu würden ausserordentlich starke Gefässe gehören. Es müsste daher an der Verwendungsstelle auch gleich die Herstellung vorgenommen werden. Nach dem Dewar'schen Verfahren transportirt man vorsichtig tragend in offenen Flaschen ganz kurze Strecken den flüssigen Sauerstoff, indem man ihn möglichst gegen Erwärmen schützt. Die Flaschen sind doppelwandig und der Zwischenraum evacuirt. Da der evacuirt Raum frei von Materie ist, so kann auch keine Wärmemittheilung stattfinden, wenigstens nicht anders als durch Strahlung, und davor kann man sie schützen.

Ich habe bereits erwähnt, dass angenommen wird, dass die Dichtigkeit aller Körper bis zum absoluten Nullpunkte der Temperatur grösser wird, derart, dass schliesslich die Atome oder Moleküle so nahe aneinander gerückt sind, dass keine Bewegung mehr möglich ist. Diese Körper-

beschaffenheit schliesst auch chemische Veränderungen aus, die ja in anderer Gruppierung der Atome verschiedener Grundstoffe bestehen. Und in der That vermindert sich mit der Abkühlung die chemische Affinität der Körper.

Diese Thatsache wird in dem Pictet'schen Institut hervorragend benutzt zur Herstellung chemisch reiner Substanzen, durch Scheidung der verschiedenen Stoffe von einander, in Verbindung mit den verschiedenen Siedepunkten derselben.

Chemikalien mit niedrigem Siedepunkte werden in luftverdünntem Raume bei niedriger Temperatur der Verdunstung ausgesetzt. Bei richtiger Wahl der Temperatur trennen sie sich in Folge der geringeren Affinität bei der Verdunstung derart, dass der leichter flüchtige Stoff verdunstet, während die anderen flüssig bleiben. Das Destillat wird dann aufgefangen als chemisch reiner Stoff. So wird Aether, Alkohol, Lachgas, Chloroform etc. vollkommen rein hergestellt, zum Theil auch bei sehr niedrigen Temperaturen (z. B. Chloroform bei -120°) krystallisirt. Aus Alkohol wird das Aldehyd auf diese Weise entfernt, Essenzen und Oele gereinigt.

Chemische Verbindungen, welche unter gewöhnlichen Temperaturen sich sehr stürmisch vollziehen, können durch Erniedrigung der Temperatur wegen der geringeren chemischen Affinität langsamer und ruhiger vor sich gehen. Es giebt für alle bestimmte Temperaturen, bei denen die Verwandtschaft ganz aufhört, so z. B. zwischen Aetznatron und konzentrirter Schwefelsäure bei -125° u. s. w.

Dieses soll überhaupt nach Pictet die untere Temperaturgrenze für chemische Veränderungen sein, so dass also in der Kälte das Mittel gegeben ist, alle Explosionen zu vermeiden. Minder tiefe Temperaturen dienen zur ruhigen Herstellung mancher Verbindungen, die bei höheren Temperaturen herzustellen seine Schwierigkeiten hat.

Man ist jetzt lebhaft beschäftigt, den Einfluss der tiefen Temperaturen auf chemische, physikalische, elektrische und biologische, auf Thier- und Pflanzenverhältnisse zu untersuchen, hat dabei schon manche überraschende Erscheinungen gefunden und wird noch viele solche finden. Erschwert werden derartige Versuche durch die Schwierigkeit, die tiefen Temperaturen herzustellen, zu erhalten und bei ihnen Versuche zu machen, denn so leicht und einfach, wie es bei der kurzen Beschreibung erscheint, verlaufen die Prozesse nicht. Es sind gewaltige mechanische und technische Schwierigkeiten dabei zu überwinden, namentlich betreffs Herstellung und Erhaltung der hohen Spannung und der Wärmeisolirung.

Es scheint nach den Versuchen Pictets, dass Wärmeisolirungen bis -70° C. etwa durchgeführt werden können, bei lebenden Thieren mittels Pelzwerk etc., dass aber bei weiterem Sinken der Temperatur dieselbe allen Stoffen sich gleichmässig mittheilt. Höhere Thiere, die zum Leben eine gewisse innere Eigenwärme gebrauchen, gehen dann zu Grunde durch

Erfrieren, während Einathmen von Luft von -100° bis -110° keinen Schaden zu thun scheint. Die Einflüsse kurzen Aufenthalts in Temperaturen von unter -70° sollen nach Pictet günstig für die Gesundheit sein, und er begründet darauf eine bisher freilich noch problematische Heilkunst, die Frigotherapie.

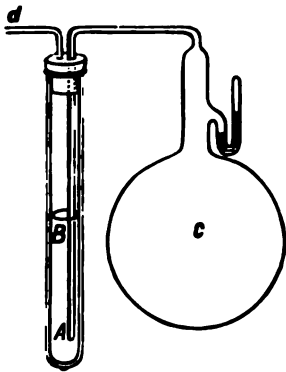


Fig. 443.

gebogene Glasröhre *AB* aus, dessen letzter, unten geschlossener Schenkel von einem Vacuumgefäß umgeben war. In der unteren Hälfte desselben

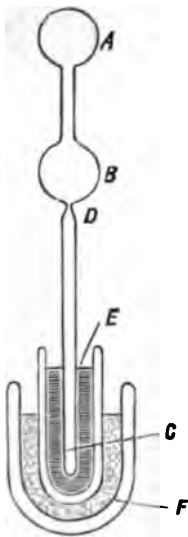


Fig. 444.

Je niedriger die Thiere, desto widerstandsfähiger scheinen sie gegen Kälte zu sein. Sporen und Bakterienkeime, selbst Samen höherer Pflanzen sind bei -213° noch lebens- und keimfähig geblieben.

Im letzten Jahre ist es Dewar gelungen, eine geringe Menge Wasserstoff zum Erstarren zu bringen. In Fig. 443 ist sein Apparat dargestellt. Der Glasballon *C* von einem Liter Inhalt wurde mit reinem, trockenem Wasserstoff gefüllt. An dem Hals der Flasche befand sich seitlich ein kleines Manometer. Oben lief dasselbe in eine lange, zweimal rechtwinklig

gebogene Glasröhre *AB* aus, dessen letzter, unten geschlossener Schenkel von einem Vacuumgefäß umgeben war. In der unteren Hälfte desselben befand sich flüssiger Wasserstoff. An das Rohrende *d* war eine Luftpumpe angeschlossen. Sobald diese in Thätigkeit trat, so sammelte sich auf dem Boden des kalibrierten Röhrendes vollständig klarer flüssiger Wasserstoff. Sobald der Druck auf etwa $\frac{1}{20}$ Atmosphäre (40 mm Druck) sank, so verwandelte sich der in dem Vacuumgefäß befindliche flüssige Wasserstoff in festen Schaum. Wenn der Apparat umgekehrt wurde, so floss keine Flüssigkeit heraus, der Wasserstoff war also fest geworden. Liess man die Luftpumpe weiter arbeiten bis 25 mm Druck und brachte hinter dem Apparat ein helles Licht an, so konnte man in den unteren Theil der Röhre *AB* durchsichtiges, an der Oberfläche schäumiges Eis erkennen. Der Wasserstoff war also gefroren. Die Temperatur soll etwa -257° ge-

wesen sein, d. h. 16° über dem absoluten Nullpunkt.

Dewar suchte mit Hülfe flüssigen Wasserstoffs einen luftleeren Raum herzustellen. Eine Glasröhre in der Form, wie in Fig. 444 abgebildet, von etwa 30 cm Länge mit Hohlkugeln *A* und *B*, ist mit Luft, Sauer-

stoff oder Stickstoff gefüllt, unter Atmosphärenspannung, und mit ihrem geschlossenen Ende *C* in flüssigen Wasserstoff *E* getaucht, der wieder von flüssiger Luft *F* umgeben war. Die Temperatur des flüssigen Wasserstoffs ist etwa -243° , der Siedepunkt der Luft etwa -191° . Da der Erstarrungspunkt der Luft nur wenig tiefer liegt, so wird sie in der Röhre *C* fest, sammelte sich an dem unteren Ende derselben an. Dann wurde die Röhre bei *D* zugeschmolzen. Völliges Vacuum war aber auch jetzt noch nicht hergestellt, wie durch das Spektroskop erkennbar war. Der Widerstand gegen den Durchgang elektrischer Funken war so gross, dass es nur möglich war nach vorheriger Erhitzung der Röhre. Für diesen Versuch waren Platinelektroden eingeschmolzen.

Behn hat im letzten Jahre Untersuchungen über die spezifische Wärme von Metallen bei tiefen Temperaturen in den Annalen der Physik veröffentlicht, wobei er zur Abkühlung flüssige Luft benutzte. Die Temperatur wurde auf thermo-elektrischem Wege gemessen. Es zeigte sich dabei eine Abnahme der spezifischen Wärme bei sinkender Temperatur. Er machte seine Untersuchungen mit Blei, Platin, Palladium, Kupfer, Eisen und Aluminium. Wenn für die verschiedenen gemessenen spezifischen Wärmen und die entsprechenden Temperaturen Kurven konstruirt werden, so scheint es Behn, als ob diese Kurven sich bei -273° schneiden werden, dass also die spezifische Wärme für alle Metalle den gleichen sehr kleinen Werth annimmt. Nur Aluminium scheint eine Ausnahme zu machen.

Zum Schluss will ich noch auf die militärischen Luftballons eingehen. In England sind schon vor 15 Jahren Luftballontrains nach Aegypten geführt, welche komprimirten Wasserstoff mit auf die Reise nahmen. Dasselbe wird jetzt hier bei militärischen Luftschiffer-Abtheilungen gemacht mit Wasserstoff, komprimirt in Stahlbehältern auf 100 bis 200 Atmosphären; z. B. enthält eine solche Stahlflasche von 2,4 m Länge und 13 cm Durchmesser 4 cbm Wasserstoff von 130 Atmosphären eingepresst. Das Gewicht der Flasche ist 28 bis 30 kg. Die Fabrikation der Stahlflaschen wird so beschrieben, dass eine kreisrunde Stahlplatte durch den Stempel einer vertikalen hydraulischen Presse so weit eingedrückt wird, bis sich der Rand aufwärts biegt. Es werden immer kleinere Matrizen, aber immer derselbe Stempel benutzt, und diese Operation 12mal wiederholt, und zwar theils in heissem, theils in kaltem Zustande. Das obere noch offene Ende des so erhaltenen Cylinders wird in mehreren Hitzen mit dem Dampfhammer oder mit dem Handhammer in Gesenken nach und nach so zugezogen, dass ein 80 cm weiter und langer Hals entsteht, der durch

Einschweissen eines Pfropfens geschlossen wird. Der Hals wird dann auf der Drehbank abgedreht, ausgebohrt und mit Gewinde versehen, um das Ventil und Verschlussstück daran zu befestigen.

In solche Flaschen werden auch die Kälteflüssigkeiten, Kohlensäure, Ammoniak und schweflige Säure, eingepresst und zum Gebrauch an den Konsumtionsort befördert.

Dies mag genügen, um noch einen Ausblick zu gewähren, welche grosse Aussichten noch das Gebiet der Kälteerzeugungstechnik gestattet und womit die Hülfs technik derselben sonst noch in Zusammenhang steht.

Alphabetisch geordnetes Inhalts-Verzeichniss.

A.

- Abschlussventile an Kohlensäuremaschinen 270.
— der Fred. W. Wolf Company 233.
Absorptionsapparat von Egells 152.
— — Kux 151.
— — Stockmann 140.
— — Welz 151.
Absorptionsgrösse und Siedepunkt verschiedener Dämpfe 154. 155.
Absorptionsmaschine, kleine intermittirende 128.
— Kreisprozess derselben 44.
— Theorie von Belani 50.
— — Lorenz 53.
— transportable 120.
— von Beetz 157.
— — Carré 26.
— — Habermann 28. 135.
— — O. Kropf 123.
— — Mosler 134. 344.
— — Pontifex & Wood 26.
— — Reece 26.
— — Sulzer-Vogt 139.
— — Vaass & Littmann 118. 333; Preise derselben 333.
— Wirkungsgrad 4.
Absorptionswärme für verschiedene Spannungen bei diversen Sättigungsgraden 58.
— von Ammoniak 52. 55. 58.
Actionbrauerei St. Pauli in Hamburg, Kühlanlage 417.
Aethermaschine von Harrison 12.
— — Siddeley & Co. 19.
— — Siebe, Gorman & Co. 12.
— — West & Co. 19.
Aethermaschinen 19.
Allgemeine Gleichung der Dämpfe 73.
Allgemeines 1.
Amerikanische Ammoniak-Kompressionsmaschinen 195.
— Rohrverbindung 214.
— Schlächtere 544.
Ammoniak 68. 78.
— - Absorptionsmaschine, Leistung derselben 361.
— — von Mosler, Preise 344.
Ammoniak, Absorptionswärme 55. 58.
— — diverse Werthe für verschiedene Sättigungsgrade 57.
— — erzeugte Kälte pro Kubikmeter 97.
— — indicirte Arbeit pro Kubikmeter 97.
— - Kompressionsmaschinen, Leistung derselben 361. 362. 373. 383. 385.
— — Resultate 360.
— — von Boyle 202.
— — Farringdon 463.
— — Fixary 207.
— — Hartung & Wepner 208.
— - Kompressionsmaschine Hercules 204.
— — Kilbourn 194.
— — Lightfoot, Preise 341.
— — Linde, Preise 337.
— — Nehrlich 210.
— — de la Vergne 196; Preise derselben 341.
— Sättigungsgrade 55. 57.
— Spannung, Volumen, latente und Flüssigkeitswärme 79.
— Volumenänderung im Kondensator und Verdampfer 100.
— Werthe für gesättigte Dämpfe nach Mollier 114.
— — — Zeuner 110. 116.
— — für Kompressionsmaschinen 92.
Ammoniakdämpfe, Spannung derselben 10.
Ammoniakdestillator 121.
Ammoniak-Eismaschine von Linde, Preise 339.
Ammoniaklösungen, specifische Gewichte und Procentgehalte 289.
Ammoniakmaschinen 19.
Ammoniakmengen in 100 Liter Salmiakgeist 290.
Ammoniaktabellen 289. 290.
Ammoniakverbrauch der Kompressionsmaschinen 167.
Anwendung der Kältemaschinen 346.
Apparat für destillirtes Wasser 186.
Aräometergrade für Ammoniak 287.
Arbeitsart der Kompressionsmaschinen 61.
Arbeitsraum der Kompressoren 346.

Arbeitsraum des Kompressors verschiedener Kompressionsmaschinen 346.
 Armaturen von Dreyer, Rosenkranz & Droop 225.
 Auffangapparat für Salzwasserleitungen von Freundlich 308.
 Ausgeführte Anlagen 391.

B.

Barmbecker Brauerei Act.-Ges. in Hamburg, Kühlanlage 437.
 Beaume's Areometergrade, Umwandlung in spec. Gewichte 287.
 Boetz's Absorptionsmaschine 157.
 Behrend's, G., kombinierte Maschine, Dampfverbrauch 285.
 — Kompressionsmaschine ohne Wasserdampfmaschine 278.
 — Luftmaschine 29. 309.
 Belani's Theorie der Absorptionsmaschine 50.
 Bell Coleman's Luftmaschine, Kühlung eines Schiffsladeraums 538.
 Berieselungs-Kondensator 184. 221.
 — — der Maschinenfabrik Augsburg 221.
 — — Leistung derselben 222.
 — — von Vulcan Iron Works 229.
 — -Verdampfer 186.
 Beziehung zwischen Temperatur und Sättigungszustand der Luft 37.
 — — Volumen, Temperatur und Druck der Luft 32.
 Blümcke's Versuche mit Pictet-Flüssigkeit 242.
 Borsig's Schwefligsäure-Maschine 248. 253.
 Boyle's Ammoniak-Kompressionsmaschine 202.
 Brauereikühlung 389.

C.

Carnot'scher Kreisprozess 3. 33. 82.
 Carré's Maschine, Absorptionsmaschine 17. 26.
 — Vacuummaschine 20.
 Chlormagnesium, Preise und Gewichte 302.
 Chokoladen-Kühlraum von Pictet 550.
 Circulationsapparat im Verdampfer 248.
 Compagnie Pictet, Schwefligsäuremaschinen 245.
 Condict & Rose's Vacuumapparat 153.
 Csete's Vacuumpumpe 156.

D.

Dämpfe, Allgemeine Gleichung derselben 73.
 — Specifische Wärme derselben 75.
 — Ueberhitzte und gesättigte 81.
 Destillator für Ammoniak 121. 286.
 Destillirtes Wasser, Apparat 186. 246.
 Dewar, Verflüssigung und Erstarren von Wasserstoff 582.
 Dietrich, Gebr., in Düsseldorf, Kälteerzeugungsanlage in der Brauerei 392.

Dimensionen des Kompressors 83.
 Dreher, A., in Triest, Kälteerzeugungsanlage in der Brauerei 403.
 Dreyer, Rosenkranz & Droop, Armaturen 225.
 Druckausgleichventile von Gebhardt & König 216.
 Druckregulator von Riedinger 258.
 Druckverminderung von Rossi & Beckwith 155.
 Duvallon & Csete's Vacuummaschine 20.

E.

Egell's Absorptionsapparat 152.
 Einfluss der schädlichen Räume bei Kompressionsmaschinen 98.
 — — Temperaturen bei Kompressionsmaschinen 96.
 Eisbahn, künstliche Sommer- 550.
 Eisbahnen, künstliche 390.
 Eiserzeugung 390.
 Eisfabrikation in Nordamerika 469.
 Eisgeneratoren, Vorschubmechanismus 271.
 Eismaschinenanlage von Escher, Wyss & Co. in Zürich 451.
 Eisschrank von Müller 285.
 Erzeugte Kältemengen 90.
 Erzeugung sehr niedriger Temperaturen 561.
 Escher, Wyss & Co., Kohlensäuremaschine 270.
 — — in Zürich, Krystalleis-Maschinenanlage 451.
 — — Kohlensäure-Kühlmaschinen-Anlage 471.
 Expansionscylinder 86. 91.
 — Verhältnisse mit und ohne denselben 92.
 — von Sedlacek 209.

F.

Farringdon's Ammoniak-Kompressionsmaschine, Hopfenkühlraum 463.
 Fixary, Ammoniak-Kompressionsmaschine 207.
 — Luftkühlapparat 224.
 Fleisch, gefrorenes amerikanisches zu kühlen 544.
 Fleischkühlanlage für Salzwasserleitungen 387.
 — von Maschinenbauanstalt „Humboldt“ in Kalk 505.
 Fleuss's Vacuummaschine 21.
 — Maschine mit Gasolin 272.
 Flüssige Luft von Linde 577.
 Flüssigkeitsballons 236. 286. 292.
 Flüssigkeits-Einspritzventil von Vaass & Littmann 259.
 Flüssigkeitgemische 70.
 Flüssigkeitsmischung von de Motay & Rossi 28.
 — — Tessié de Motay 70. 153.
 — — Quiri & Co. 253.

Flüssigkeit Pictet 19. 28. 48. 70. 238.
 Freundlich's Auffangapparat für Salzwasser-
 leitungen 308.
 Frick-Company, vertikale Kompressoren 227.
 — Rohrverbindungen 227.
 Friedrich-Augusthütte, Kohlensäuremaschine
 18.
 Füllung der Maschinen 286.
 Füllmenge der verschiedenen Kompres-
 sionsmaschinen 391.
 Füllungsverluste bei Kompressionsmaschinen
 104.

G.

Galland's Vacuummaschine 26. 145.
 Gasolinmaschine von Fleuss 272.
 Gebhardt & König's Druckausgleichventile
 210.
 — Kohlensäuremaschine mit stufenweiser
 Kompression 271.
 Gefrieranlage für amerikanisches gefrorenes
 Fleisch 544.
 Gefrierpunkt von Salzlösungen 11.
 Germania, Maschinenfabrik in Chemnitz,
 Kühlanlage 427.
 — Oelabscheider 211.
 Gesättigte und überhitzte Dämpfe 81.
 Giffard's Luftmaschine 29.
 Gleichung der Dämpfe 73.
 — — inneren Energie der Dämpfe 73.
 de Gorrie's Luftmaschine 29.
 Gradirwerke 294.
 Grösse des Arbeitsraumes des Kompressors
 verschiedener Kompressionsmaschinen 346.
 Grössenberechnung des Kompressors 109.

H.

Habermann's Absorptionsmaschine 28. 135.
 Hall, J. & E., Schiffskühlmaschine 262.
 Hardys Vacuumpumpe 157.
 Harrison's Maschine mit Aether 12.
 — Vacuumapparat 25.
 Hartung & Wepner's Ammoniak-Kompres-
 sionsmaschine 208.
 Haubold jr., C. G., Kohlensäuremaschine 267.
 Hercules, Ammoniak-Kompressionsmaschine
 204.
 Hopfenkühlraum von Pontifex & sons mit
 Farringdon's Ammoniakmaschine 463.
 Humboldt in Kalk, Fleischkühlanlage 505.
 Humboldt'scher Luftkühlapparat 506.
 — Luftreinigung von Pilzkeimen 558.

I.

Innere Energie der Dämpfe 73.
 Isolirmaterialien 464.
 Isolirung von Seyboth 467.
 — — Wänden 544.
 Isolirungen von Grünzweig & Hartmann 468.

K.

Kältemaschinen, Anwendung derselben 346.
 Kältemengen, erzeugte 90.
 Kältemischungen, Tabelle 6.
 Kältetemperaturen in verschiedenen Indu-
 strien 551.
 Kellerkühlanlage von Oskar Kropff in Nord-
 hausen 422.
 Kellerkühlung von der Halle'schen Maschi-
 nenfabrik vorm. Vaass & Littmann 419.
 Kilbourn's Ammoniak-Kompressionsmaschine
 194.
 Kirk's Luftmaschine 29. 317.
 Klareisapparat von Linde 186.
 Klein, Schanzlin & Becker, Rückkühler 219.
 — Kolbenpumpe „Una“ 306.
 Kleine Kühlanlage der Linde-British Re-
 frigeration Co. 469.
 — Gefrier- und Kühlanlage für amerika-
 nisches gefrorenes Fleisch 544.
 Kohlensäure 69. 79.
 — -Eismaschine von L. A. Riedinger, Preise
 343.
 — erzeugte Kälte pro Kubikmeter 97.
 — indicirte Arbeit pro Kubikmeter 97.
 — -Kühlmaschinenanlage der Brauerei de
 Sochoux von Escher, Wyss & Co. 471.
 — Spannung, Volumen, latente und Flüs-
 sigkeitswärme 80.
 — spezifisches Gewicht 242.
 — Volumenänderung im Kondensator und
 Verdampfer 100.
 — Werthe für gesättigte Dämpfe nach
 Zeuner 112. 116.
 — Werthe für Kompressionsmaschinen 93.
 Kohlendioxidmaschine der Friedrich-August-
 hütte 18.
 — — Maschinenfabrik Augsburg 255.
 — Konstruktionen derselben 267.
 — Leistung derselben 374. 384.
 — mit stufenweiser Kompression 271.
 — Verwendung derselben 263.
 — von C. G. Haubold jr. 267.
 — — Escher, Wyss & Co. 270.
 — — L. A. Riedinger 257. 270. 342; Preise
 derselben 342.
 — — Raydt 255.
 — — Vaass & Littmann 259. 262. 263.
 — — Windhausen 22. 257. 262.
 Kohlensäuremaschinen, Verluste derselben
 116.
 Kolbenpumpe von Klein, Schanzlin & Becker
 306.
 Kombinirte Verdampfungsmaschine von
 Mort & Nicolle 27.
 — — Osenbrück 28. 158.
 — Verdampfungsmaschinen 47. 48.
 — — von Motay & Rossi 48.
 Kompressionsarbeit 87.
 Kompressionsmaschine Hercules 204.
 — Kreisprozess derselben 44.

- Kompressionsmaschine, Leistung derselben, Vortrag von Linde 356. 385.
 — Nürnberg 182.
 — ohne Kompressor 274.
 — — Wasserdampfmaschine von G. Behrend 278.
 — Schwefligsäure-, von Borsig 248. 253.
 — transportable 181.
 — von Boyle 202.
 — — Fixary 207.
 — — Hartung & Wepner 208.
 — — Kilbourn 194.
 — — Lightfoot 341.
 — — Linde 160. 334.
 — — Nehrlich 210.
 — — Neubecker 179.
 — — Pictet 234. 341.
 — — Seyboth 183.
 — — de la Vergne 196. 341.
 — Wirkungsgrad 3.
 Kompressionsmaschinen, amerikanische 195.
 — Ammoniakverbrauch 167.
 — Arbeitsart derselben 61.
 — Einfluss der schädlichen Räume 98.
 — — Temperaturen 96.
 — Füllungsmengen 391.
 — Füllungsverluste 104.
 — Reibungen und passive Widerstände 101.
 — Spannung der Medien 14.
 — Theorie derselben 60. 62.
 — vortheilhafteste Bedingungen 94.
 Kompressor, Dimensionen 83.
 — Grösse des Arbeitsraumes verschiedener Kompressionsmaschinen 346.
 — Grössenberechnung 109.
 — grosser, der Fred. W. Wolf Company 233.
 — von Linde 189.
 — — Rudloff-Grübs 253.
 — — Sedlacek 259.
 Kompressoren der Vulcan Iron Works 227.
 — vertikale, von Frick Company 227.
 Compound-Kompressoren von Linde 212.
 Kondensation und Verdampfung 89.
 Kondensator, Berieselungs- 184.
 — — der Maschinenfabrik Augsburg 221.
 — der Fred. W. Wolf Company 230.
 — Leistung derselben 218.
 — Rau's, von Quiri & Co. 251.
 — Tauch- 216.
 Konstruktion der Kälteerzeugungsmaschinen 118.
 Konzentrationsapparat für Schwefelsäure 152.
 Krauschitz's Vacuummaschine 274.
 Kreisprozess, Carnot'scher 3. 33. 82.
 — — der Absorptionsmaschine 44.
 — — Kompressionsmaschine 44.
 — — Polytropischer 5.
 Kritischer Punkt 69. 263. 387. 568.
 Kropff, Oskar, in Nordhausen, Kellerkühlanlage 422.
 Kropff'sche Absorptionsmaschine 123.
 Krystalleis-Maschinenanlage von Escher, Wyss & Co. in Zürich 451.
 Kühlanlage der städtischen Grossmarkthalle in Wien von Riedinger in Augsburg 469.
 — eines Schiffsladeraums mit Bell-Coleman'scher Luftmaschine 538.
 — — Schiffsraumes mit Linde'scher Maschine 542.
 — für Fleisch von Maschinenbauanstalt „Humboldt“ in Kalk 505.
 — im Schlachthof zu Magdeburg 537.
 — — Wiesbaden mit Linde'scher Maschine 501.
 — von Privatschlächtereien von Vaass & Littmann 546.
 — — Wohngebäuden oder Schulen 553. 557.
 Kühleinrichtung des Schlachthofes in Bremen von Osenbrück & Co. 483.
 Kühlraum für Chokolade von Pictet 550.
 Kühlung der Kohlensäure von Raydt 258.
 — in Schlachthäusern 476.
 Kühlwasser 294.
 Künstliche Sommereisbahn 390. 550.
 Kux's Absorptionsapparat 151.

L.

- Lango's Vacuummaschine 277. 344; Preise derselben 344. 345.
 Laufkrahn von Maschinenfabrik Augsburg 308.
 Leistung einer Ammoniak-Absorptionsmaschine 361.
 — — — Kompressionsmaschine 361. 362. 373. 383.
 — — Ammoniakmaschine nach Linde 385. 390.
 — — Kohlensäuremaschine nach Linde 384.
 — — Pictet-Maschine 354.
 — ökonomische, der Kompressionsmaschine 90.
 — Vergleich verschiedener Maschinen 363.
 — von Kohlensäuremaschinen 374.
 — — Kompressionsmaschinen, Vortrag von Linde 356.
 Leslie's Maschine 12.
 — Vacuummaschine 20.
 Lightfoot, Ammoniak-Kompressionsmaschine, Preise 341.
 Lightfoot's Kompressionsmaschine 341.
 — Luftmaschine 29. 328.
 Linde, British-Refrigeration Co., kleine Kühlanlage 469.
 — Schlachthof zu Magdeburg 537.
 Linde's Ammoniak-Kompressionsmaschine, Preise 337.
 — — -Eismaschine, Preise 339.
 — flüssige Luft 577.
 — Kompressionsmaschine 17. 160.
 — Kühlanlage im Schlachthof zu Wiesbaden 501.
 Linde'sche Ammoniakmaschine, Versuchsergebnisse 381.

Linde'sche Maschine, Kühlung eines Schiffsraumes 542.
 Lorenz, Dr. H., Theorie der Absorptionsmaschine 53.
 Luft in den Spiralen 293.
 — Sättigungszustand und Temperatur 37. 388.
 — Volumen, Temperatur und Druck 32.
 Luftexpansionsmaschinen, Versuche damit 325.
 Luftkühlapparat von Fixary 224.
 — — Maschinenbauanstalt „Humboldt“ in Kalk 506.
 — — Osenbrück 298.
 Luftkühlapparate und deren Wirkungsweise 529.
 Luftkühler mit Berieselung 271.
 Luftkühlung mit rollenden Cylindern 223.
 — mittels einer Luftexpansionsmaschine 325. 326.
 — Scheibenapparat 222.
 Luftmaschine, Arbeitsweise derselben 39.
 — Erklärung derselben 31.
 — von G. Behrend 29. 309.
 — — Bell-Coleman, Kühlung eines Schiffsladeraums 538.
 — — Giffard 29. 332.
 — — de Gorrie 29.
 — — Kirk 29. 317.
 — — Lightfoot 29.
 — — W. Siemens 29.
 — — Windhausen 29. 317.
 — Wirkungsgrad 4.
 Luftmaschinen, Vergleich des Wirkungsgrades 358.
 Luftreinigung von Pilzkeimen vom „Humboldt“ in Kalk 558.

M.

Magdeburger Schlachthof, Kühlanlage von Linde 537.
 Maschine, Aether-, von Siebe, Gorman & Co. 12.
 — mit Aether 19.
 — — Ammoniak 19.
 — von Carré 17.
 — — Harrison 12.
 — — Leslie 12.
 — — Linde 17.
 — — Osenbrück 18.
 — — Perkins 12.
 — — Pictet 19.
 — — Dr. Raydt 18.
 — — C. Rossi 9.
 — — W. Siemens 7.
 — — Tollier 19.
 — — Toselli 8.
 — — Windhausen 18.
 Maschinen, Vacuum- 20.
 — — von Carré 20.
 — — — Duvallon & Csete 20.
 — — — Leslie 20.

Maschinenfabrik Augsburg, Kohlensäuremaschine 255.
 — — Laufkrahn 308.
 Methyläther 67. 385.
 — und Methylchlorür, Spannung und spez. Gewichte 385.
 Methylchlorür 67. 385.
 Mielke in Charlottenburg, Kühlanlage mit Windhausen's Kohlensäuremaschine 445.
 Mort und Nicolle's kombinierte Verdampfungsmaschine 27.
 Mosler, Ammoniak-Absorptionsmaschine, Preise 344.
 Mosler'sche Absorptionsmaschine 134. 344.
 de Motay & Rossi's Flüssigkeitsmischung 28.
 — — kombinierte Verdampfungsmaschine 48.
 Müller's Eisschrank 285.

N.

Nehrlich's Kompressionsmaschine 210.
 — Vacuumapparat 153.
 Neubecker's Kompressionsmaschine 179.
 Niedrige Temperaturen, Erzeugung derselben 561.
 Nürnberger Kompressionsmaschine 182.

O.

Oekonomische Leistung der Kompressionsmaschine 90.
 Oelabscheider der Germania, Maschinenfabrik 211.
 — von Seyboth 214.
 Osenbrück's kombinierte Verdampfungsmaschine 28. 158.
 — Kühleinrichtung des Schlachthofes in Bremen 483.
 — Luftkühlapparat 298.
 — Maschine mit Kompression 18. 173.
 — Stopfbüchse 175.
 — Werthe an einer kombinierten Ammoniakmaschine 159.

P.

Patten's Vacuumapparat 150.
 — Vacuumpumpe 156.
 Perkins Maschine 12.
 Pflockhahn 213.
 Phönix, Exportbrauerei in Dortmund, Kühlanlage 427.
 Physikalische Wego zur Kälteerzeugung 5.
 Pictet, Chokoladen-Kühlraum 550.
 — — Flüssigkeit, Kühlanlage 441.
 — — Spannungen 242. 243.
 — — Maschine, Preise 341.
 Pictet's Flüssigkeit 19. 28. 48. 70. 238. 240.
 — Herstellung chemisch reiner Substanzen mittels Kälte 581.
 — Maschine 19. 234. 354.
 — Schwefligsäure-Kompressionsmaschine 234. 341.

Pictet'sche Schwefligsäuremaschine, Versuchsresultate 381.
 Polytropischer Kreisprozess 5.
 Pontifex & sons Hopfenkühlanlage mit Farringdon's Ammoniakmaschine 463.
 Pontifex & Wood, Absorptionsmaschine 26.

Q.

Quiri & Co., Flüssigkeitsmischung 253.
 — Kondensator und Verdampfer von Rau 251.

R.

Rau's Kondensator und Verdampfer von Quiri & Co. 251.
 Raumisolirung 464.
 Raydt's Kohlensäuremaschine 255.
 Dr. Raydt's Maschine 18. 255.
 Rectificirapparat 292.
 Reece's Absorptionsmaschine 26.
 Regulirventil 292.
 Reibungen und passive Widerstände bei Kompressionsmaschinen 101.
 Reinigungsapparat für Verdampferspiralen von Weisser 225.
 Reinigung des Verdampfers 293.
 Respirationsapparat 296.
 Resultate an Ammoniak-Kompressionsmaschinen 360.
 Riedinger, L. A., Kohlensäuremaschine, 257. 270. 342; Preise derselben 342. 343.
 — Kühlanlage der städtischen Grossmarkthalle in Wien 489.
 Römpler's Circulationsapparat im Verdampfer 248.
 Rohleder's Rückkühler 218.
 Rohrverbindung, amerikanische 214.
 Rohrverbindungen der Fred. W. Wolf Company 230.
 — — Frick Company 227.
 — — Vulcan Iron-Works 229.
 C. Rossi's Maschine 9.
 Rossi & Beckwith, Druckverminderung 155.
 Rotationspumpe von Beck & Rosenbaum 302.
 — — Maschinenfabrik Augsburg 303.
 — — Wilhelmshütte (Lehmann) 303.
 Rudloff-Grüb's Kompressor 253.
 Rückkühler, Resultate von Rohleder 219.
 — von Klein, Schanzlin & Becker 219.
 — — Rohleder 218.
 Rückschlagventil 213.

S.

Salmiakgeist, Ammoniakmengen in 100 Liter 290.
 Salz zur Füllung der Systeme 301.
 Salzlösungen, Gefrierpunkt 11.
 Salzwassersysteme, Anzahl und Oberfläche 299.
 — Befestigung 299.

Sättigungsgrade von Ammoniak 55. 57.
 Sättigungszustand der Luft 388.
 Schädliche Räume, Einfluss derselben bei Kompressionsmaschinen 98.
 Scheibenapparat für Luftkühlung 223.
 Schiffskühlmaschine von Linde 191.
 — — J. & E. Hall 262.
 Schiffskühlung mit Linde'scher Maschine 542.
 — von Linde 468.
 Schiffsladeraum, Kühlung mit Bell-Coleman'sche Luftmaschine 538.
 Schlichterei, amerikanische 544.
 — Kühlung von Vaass & Littmann 546.
 Schlachthäuser, Kühlung in denselben 476.
 Schlachthof und Viehmarkt in Bremen, Kühleinrichtung von Osenbrück & Co. 483.
 — zu Magdeburg von Gesellschaft Linde 537.
 Schlammtopf für Kohlensäuremaschine 268.
 Schmierung mit konsistentem Fett 212.
 Schröter in München, Versuche 348.
 Schröter's Versuche an Kältemaschinen 346. 380.
 Schüchtermann & Kremer, Schwefligsäuremaschinen 19. 243.
 — — Schwefligsäure-Kältemaschinenanlage der Berliner Bockbrauerei 455.
 Schulen, Kühlung derselben 553.
 Schwefeläther 66.
 Schwefelkohlenstoffmaschine von Windhausen 273.
 Schwefelsäure-Konzentrationsapparat 152.
 Schweflige Säure 66.
 — — spezifisches Gewicht 242.
 — — Werthe für gesättigte Dämpfe nach Zeuner 111. 116.
 Schwefligsäure-Kompressionsmaschine der Compagnie Pictet 245.
 — — von Pictet 234.
 — — — Schüchtermann & Kremer 243.
 Schwefligsäuremaschine, Pictet, von Société industrielle, Preise 341.
 — von A. Borsig 248. 253.
 Schwefligsäure-Kältemaschinenanlage der Berliner Bockbrauerei von Schüchtermann & Kremer 455.
 — Kompressionsmaschine von Schüchtermann & Kremer 243.
 — — der Compagnie Pictet 245.
 — und Kohlensäuremischung, Spannungen 71.
 Schwefligsäure Ballon 236.
 Sedlacek's Expansionscylinder 209.
 — Kompressor 259.
 Sedlmayr, Gabriel, Brauerei zum Spaten in München, Kühlanlage 396.
 — Josef, Brauerei zum Leist in München, Kühlanlage 410.
 Sehr niedrige Temperaturen, Erzeugung derselben 561.
 Seyboth's Kompressionsmaschine 183.
 — Oelabscheider 215.
 — Ventile 215.

Sicherheitseinrichtungen an Kohlensäuremaschinen 270.
 Siddeley & Co., Aethermaschine 19.
 Siebe, Gorman & Co., Aethermaschine 12.
 Siedepunkt und Absorptionsgrösse verschiedener Dämpfe 154. 155.
 W. Siemens's Luftmaschine 29.
 — Maschine 7.
 Sommereisbahn, künstliche 550.
 Spannung der Medien bei Kompressionsmaschinen 14.
 — Volumen, latente Wärme, Flüssigkeitswärme von Ammoniak 79.
 — — — — Kohlensäure 80.
 — von Ammoniakdämpfen 10.
 Spannungen der Pictet-Flüssigkeit 239. 240. 241. 243.
 — verschiedener Körper bei bestimmten Temperaturen 65.
 — von Methyläther und Methylchlorür 385.
 — — Schwefligsäure- und Kohlensäuremischung 71.
 Spannungskurven 18.
 Spezifische Gewichte und Prozentgehalte von Ammoniaklösungen 289.
 — Wärme, Aenderung derselben bei sehr niedrigen Temperaturen 583.
 — — der Dämpfe 75.
 — — verschiedener Körper 30.
 Spezifisches Gewicht der Pictet-Flüssigkeit 242.
 — — Dichtigkeit, Wärmeeinheiten u. s. w. 16.
 — — Siedepunkt, latente Wärme, Spannung verschiedener Dämpfe 15.
 — — von Kohlensäure und schwefliger Säure 242.
 Stockmann's Absorptionsapparat 140.
 Stopfbüchse mit Ringraum 212.
 — von Fixary 177.
 — — Friese 177.
 — — Linde 165.
 — — Maschinenfabrik Germania 176.
 — — Osenbrück 175.
 Sulzer-Vogt's Absorptionsmaschine 139.
 Süswasserkühler 390.
 Systematischer Unterschied der Verdampfungsmaschine 49.

T.

Tauch-Kondensator 216.
 Tellier's Maschine 19.
 Temperaturen, Einfluss derselben bei Kompressionsmaschinen 96.
 — für verschiedene Spannungen bei diversen Sättigungsgraden 57. 59.
 — Kälte, in verschiedenen Industrien 551.
 — sehr niedrige, Erzeugung derselben 561.
 Tessié du Motay's Flüssigkeitsmischung 70. 153.
 Theorie der Absorptionsmaschine von Belani 50.

Theorie der Absorptionsmaschine von Lorenz 53.
 — — Kompressionsmaschinen 60. 62.
 — — Verdampfungsmaschinen 49.
 Toselli's Maschine 8.
 Transportable Absorptionsmaschine 119.
 — Kompressionsmaschine 181.
 Tunnelbau, Gefrieren desselben 559.

U.

Ueberhitzte und gesättigte Dämpfe 81.
 Umwandlung Beaume'scher Areometergrade in spec. Gewichte 287.
 Undichtigkeit 295.
 Unterschied der Verdampfungsmaschinen 49.

V.

Vaass & Littmann, Absorptionsmaschinen 118. 333.
 — Expansionsmaschine, Preise 333.
 — Flüssigkeits-Einspritzventil 259.
 — Halle'sche Maschinenfabrik, Kellerkühlung 419.
 — Kohlensäuremaschine 259. 262. 263.
 — Kühlung von Privatschlächtereien 546.
 Vacuumapparat von Condict & Rose 153.
 — — Nehrlich 153.
 — — Patten 150.
 Vacuum-Eismaschinenanlage des Internationalen Vacuum-Eismaschinen-Vereins 422.
 Vacuummaschinen 20. 21. 22. 25. 26. 48. 49. 142. 274. 277.
 — von Carré 20.
 — — Duvalon & Csete 20.
 — — Fleuss 21.
 — — Galland 26. 145.
 — — Harrison 25.
 — — Krauschitz 274.
 — — Lange 277. 344.
 — — Lange, Preise 345. 346.
 — — Leslie 20.
 — — Windhausen 22.
 Vacuummaschine des Internationalen Eismaschinen-Vereins 142.
 Vacuumpumpe von Csete 156.
 — — Hardy 157.
 — — Patten 156.
 Ventile, Abschluss, der Fred. W. Wolf Company 233.
 — zum Druckausgleich von Gebhardt & König 216.
 — an Kohlensäuremaschinen 268. 270.
 — Ventile von Seyboth 215.
 Verdampfer, Berieselung 186.
 — Rau's, von Quiri & Co. 251.
 Verdampfung und Kondensation 89.
 Verdampfungsmaschine 9.
 Verdampfungsmaschinen mit Absorptionsapparat 10.
 — — Kompressionspumpe 10.

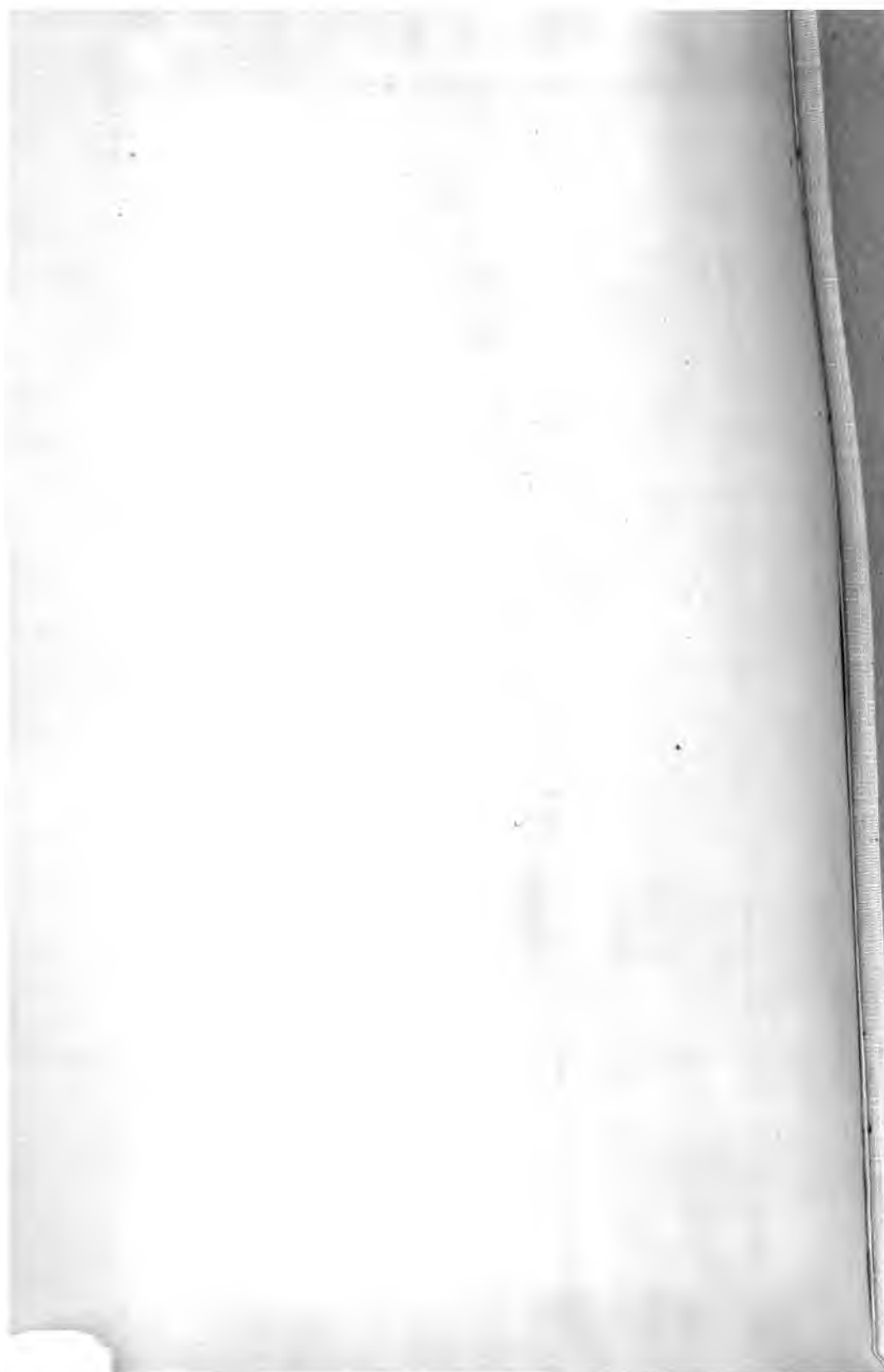
- Verdampfungsmaschine, kombinierte 28. 47.
 — von Motay & Rossi 48.
 — systematischer Unterschied derselben 49.
 — Theorie derselben 49.
 — von Vaass & Littmann 118.
 Verdichtung und Verflüssigung von Gasen,
 sowie deren Verwendung u. s. w. 563.
 Verflüssigung der Luft von Linde 577.
 — und Erstarren von Wasserstoff von Dewar
 582.
 Vergleich der Leistung verschiedener Ma-
 schinen 363.
 — des Wirkungsgrades an Luftmaschinen
 358.
 Vergleichsrechnung zwischen NH_3 , SO_2 und
 CO_2 -Maschine 383.
 Vergleichsversuche 383.
 de la Vergne, Ammoniak- Kompressions-
 maschine, Preise 196. 341.
 — -Refrigerating Machine - Company in
 New-York, Kühlanlage 432.
 Verhältnisse mit und ohne Expansions-
 cylinder 92.
 Verluste bei Kohlensäuremaschinen 116.
 — verschiedener gesättigter Dämpfe 117.
 Versuche an einer Kohlensäuremaschine 384.
 — an Kältemaschinen von Schröter 346. 380.
 — des Prof. Schröter in München 348.
 Versuchsergebnisse einer Linde'schen Ammo-
 niakmaschine 381.
 — — Pictet'schen Schwefligsäuremaschine
 381.
 Verstopfung von Röhren 294.
 Vorschubmechanismus für Eisgeneratoren
 271.
 Vortheilhafte Bedingungen bei Kompressions-
 maschinen 94.
 Vulcan Iron Works, Berieselungskonden-
 sator 229.
 — — — Kompressoren 227.
 — — — Rohrverbindungen 227.
- W.**
- Wärme, spezifische, der Dämpfe 75.
 Wärmedurchlässigkeit 389.
- Wandisolirung 544.
 Wasserkühlung in Wohngebäuden Amerika's
 557.
 Wasserstoff, Verflüssigung und Erstarren
 desselben von Dewar 582.
 Wehage's Besprechung der Schröter'schen
 Versuche 377.
 Weisser's Reinigungsapparat für Verdampfer-
 spiralen 225.
 Welz's Absorptionsapparat 151.
 Werthe für Ammoniak - Kompressionsma-
 schinen 92.
 — — diverse gesättigte Dämpfe nach Zeuner
 116.
 — — verschiedene Sättigungsgrade von
 Ammoniak 57.
 — an einer Osenbrück'schen kombinierten
 Ammoniakmaschine 159.
 West & Co., Aethermaschine 19.
 Westminster Brewery in London. Kälte-
 erzeugungsanlage 408.
 Wiener Grossmarkthalle, Kühleinrichtung
 von Riedinger in Augsburg 489.
 Wiesbadener Schlachthof mit Linde'scher
 Maschine 501.
 Widerstände, passive und Reibungen 101.
 Windhausen's Kohlensäuremaschine 257.
 — Luftmaschine 29. 317.
 — Maschine mit Kohlensäure 18.
 — Vacuummaschine 22.
 — Schwefelkohlenstoffmaschine 273.
 Windhausen'sche Kohlensäuremaschine. An-
 lage bei Mielke in Charlottenburg 445.
 Wirkungsgrad der Absorptionsmaschine 4.
 — — Kompressionsmaschine 3.
 — — Luftmaschine 4.
 — an Luftmaschinen, Vergleich 358.
 Wirkliche Leistung von Ammoniak - Kom-
 pressionsmaschinen 373. 390.
 Wohngebäude oder Schulen, Kühlung der-
 selben 553. 557.
 Wolf, Fred. W., Company, Abschlussventile
 233.
 — — — grosser Kompressor 233.
 — — — Kondensatoren 230.
 — — — Rohrverbindungen 230.

Tabellen.

	Seite
Kältemischungen	6
I. Spannung von trocken gesättigten Ammoniakdämpfen	10
II. Salzgehalt und Gefrierpunkte von Kochsalzlösungen	11
III. „ „ „ „ Chlorcalciumlösungen	11
IV. Spec. Gewicht, Siedepunkt, latente Wärme, Spannungen verschiedener Dämpfe	15
V. Spec. Gewicht, Dichtigkeit, Wärmeeinheiten u. s. w.	16
VI. Spec. Wärme verschiedener Körper	30
VII. Beziehung zwischen Volumen, Temperatur und Druck der Luft	32
VIII. Verhältniss zwischen Temperatur und Sättigungszustand der Luft	37
IX. Absorptionswärme von Ammoniak	55
X. Sättigungsgrade von Ammoniak	55
XI. Diverse Werthe für verschiedene Sättigungsgrade von Ammoniak	57
XII. Temperaturen für verschiedene Spannungen bei diversen Sättigungsgraden	57
XIII. Absorptionswärme für „ „ „ „ „	58
XIV. Temperaturen für verschiedene Spannungen von Ammoniak	59
Maximal-Dampfspannungen verschiedener Körper bei bestimmten Temperaturen	65
Spannungen von Schwefligsäure- und Kohlensäuremischung	71
Spannung, Volumen, latente Wärme, Flüssigkeitswärme von Ammoniak	79
„ „ „ „ „ „ Kohlensäure	80
Verschiedene Werthe für Ammoniak-Kompressionsmaschinen	92
„ „ „ „ Kohlensäuremaschinen	93
Erzeugte Kälte pro Kubikmeter bei $NH_3 + CO_2$	97
Indicirte Arbeit „ „ „ „ „	97
Volumenänderung im Kondensator und Verdampfer	100
XV. Werthe für gesättigte Dämpfe von Ammoniak nach Zeuner	110
XVI. „ „ „ „ „ Schwefliger Säure nach Zeuner	111
XVII. „ „ „ „ „ Kohlensäure nach Zeuner	112
XVIII. „ „ „ „ „ Ammoniak nach Mollier	114
XIX. „ „ „ diverse gesättigte Dämpfe	116
Verluste verschiedener gesättigter Dämpfe	117
Siedepunkt und Absorptionsgrösse verschiedener Dämpfe	154, 155
XX. Werthe an einer Osenbrück'schen kombinierten Ammoniak-Verdampfungs- maschine	159
Ammoniakverbrauch der Kompressionsmaschinen	167
Resultate eines Rückkühlers von Rohleder	219

	Se. 2
XXI. Spannungen der Pictet-Flüssigkeit nach Pictet	239
XXII. " " " " " Blümcke u. s. w.	240
XXIII. " " " " " " " "	241
XXIV. Spec. Gewicht von CO ₂ und SO ₂	242
XXV. " " der Pictet-Flüssigkeit	242
XXVI. } Spannungen " " "	243
XXVII. } " " " " " " " "	243
Dampfverbrauch bei Behrend's kombinirter Maschine	285
XXVIII. Umwandlung Baumé'scher Areometergrade in spec. Gewichte	287
XXIX. Spec. Gewichte und Procentgehalte von Ammoniaklösungen	289
XXX. Ammoniakmengen in 100 Liter Salmiakgeist	290
Chlormagnesium, Preise und Gewichte	302
Luftkühlung mittels einer Luftexpansionsmaschine	325, 326
Preise der Absorptionsmaschinen von Vaass & Littmann	333
" " Ammoniak-Kompressionsmaschinen von Linde	337
" " Ammoniak-Eismaschinen von Linde	339
" " Ammoniak-Kompressionsmaschinen von Lightfoot	341
" " " " " " de la Vergue	341
" " Schwefligsäure-Maschine der société industrielle Pictet	341
" " Kohlensäuremaschine L. A. Riedinger	342
" " Kohlensäure-Eismaschinen L. A. Riedinger	343
" " Ammoniak-Absorptionsmaschinen, Mosler	344
" " kleinen Vacuummaschinen von Lango	344
" " Vacuummaschinen von Lange	345
XXXI. Grösse des Arbeitsraumes des Kompressors der verschiedenen Kompressions- maschinen	346
XXXII. Versuche des Prof. Schröter in München	348
Vergleich des Wirkungsgrades von Luftmaschinen	358
Resultate von Ammoniak-Kompressionsmaschinen	360
Wirkliche Leistung einer Ammoniak-Kompressionsmaschine	361
" " " Absorptionsmaschine	361
" " " Kompressionsmaschine	362
Vergleich der Leistung verschiedener Maschinen	363
Wirkliche Leistung von Ammoniak-Kompressionsmaschinen	373
Wohage, Besprechung der Schröter'schen Versuche	378
Versuchsresultate einer Linde'schen Ammoniakmaschine	381
" " " Pictet'schen Schwefligsäure-Maschine	381
Vergleichung zwischen NH ₃ , SO ₂ und CO ₂ -Maschine	383
Leistung einer Kohlensäuremaschine nach Linde	384
" " Ammoniakmaschine nach Linde	385
Spannungen und Spec. Gewichte von Methyläther und Chlormethyl	385
Sättigungszustand der Luft bei verschiedenen Temperaturen	388
Wirkliche Leistung von Linde's Eismaschinen	390
Füllungsmenge der verschiedenen Kompressionsmaschinen	391









FEB 28 1950

