



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.

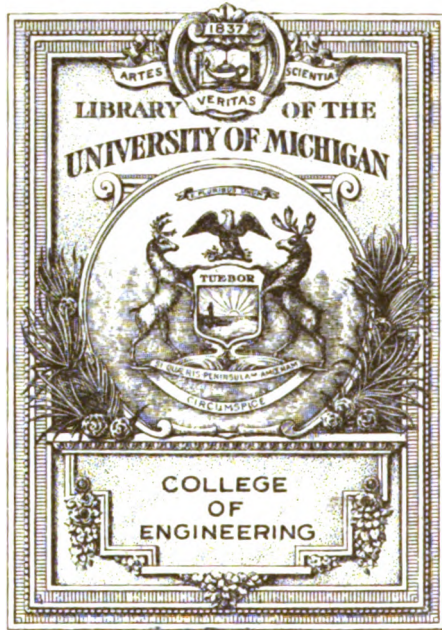
Über Google Buchsuche

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.

B

738,316

DUPL



East Engin
Library

East Engin.
Library

TL
545
.L 949

1/2 1/13

East Engin.
Library

TL
345
.L949



Luftfahrt und Wissenschaft

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson**,
Gerichtsassessor **J. Sticker**,

Dipl.-Ing. **C. Eberhardt**,
Professor Dr. **R. Süring**



Heft 1

Luftfahrtrecht

Von

Josef Kohler



Berlin

Verlag von Julius Springer

1912

ft

Luftfahrtrecht

Von

Professor **Josef Kohler**



Berlin

Verlag von Julius Springer

1912

Stiftung des Kaiserlichen Aero-Clubs, Berlin.

Eng.
H. v. v.

Zur Einführung.

Mit früher nie gekannter Raschheit vollzieht sich in unseren Tagen der Entwicklungsgang neuartiger technischer Errungenschaften. Wenn dieses Tempo bereits bei den Problemen der elektrischen Lichtleitung und Kraftumformung, bei der Ausbildung des Fernsprechers und der Funkentelegraphie ein immer mehr beschleunigtes wurde, so gestaltete sich der Fortschritt zu einem geradezu stürmischen bei dem jüngsten, in mancher Hinsicht merkwürdigsten Kinde der schaffenden Technik, so recht dem eigentlichen Schoßkinde neuerer Zeit: der Luftfahrt. Mit angehaltenem Atem sieht der moderne Mensch auf diesem Gebiete Wunder zu Taten, Taten zu Alltäglichkeiten werden. So mußte alsbald auch ein überaus starkes Bedürfnis nach Belehrung über die Möglichkeiten und Bedingungen solch' einzigartiger Entwicklung, über Gegenwärtiges und künftig zu Erhoffendes sich überall fühlbar machen.

Solchem allgemeinen Bedürfnis nachzukommen, beeilen sich in allen Kulturländern, nicht am wenigsten sicherlich in Deutschland, vielfältige Veröffentlichungen wissenschaftlicher, technischer und populärer Natur, in Form von Buch und Abhandlung, als Zeitschrift und zwanglos erscheinender Beitrag. Zu diesen letzteren gesellt sich nunmehr in „Luftfahrt und Wissenschaft“ ein neues Unternehmen; die Herausgeber hoffen, daß es sich auch als neuartig erweisen werde.

Wir wollen weder über den täglichen Fortschritt auf dem weiten Gebiete der Luftfahrt berichten, noch für Systeme, Schulen oder Ansichten die Lanze brechen, noch agitatorisch wirken. Auch sollen nicht in diesen Blättern Ergebnisse niedergelegt werden von Forschungen, bei welchen die Luftfahrt zufälliges Mittel zum Zwecke ist, die sich aber wesentlich mit dem Studium der Physik oder der Chemie der Atmosphäre befassen. Den Herausgebern schwebte in erster Linie der Gedanke vor, daß es an der Zeit sei, heute, wo die Aeronautik — im weitesten Sinne — Berührungspunkte mit nahezu allen Wissenszweigen gewonnen hat, sich auf diesen Grenzgebieten umzusehen, und mindestens vorläufig durch berufene Federn festzustellen, was die älteren Schwestern zu dem Eindringling zu sagen haben, worin sie ihm zu Danke verpflichtet sind, wo sie im Gegenteile Dank beanspruchen können dafür, daß sie sich der neuen und eigenartigen Schwester zur Verfügung gestellt haben. Neben dem ganzen Heere der technischen und physikalischen Wissenschaften sollen Jurisprudenz und Physiologie, Astronomie und Lichtbildkunst, die Erdkunde im allgemeinen, wie im besonderen Kolonial- und Polarforschung zu Worte kommen, und noch manch' anderer Wissenszweig. Außerdem aber

hoffen die Herausgeber der Luftfahrt und der Wissenschaft zu dienen, wenn sie die Veröffentlichung von speziellen Untersuchungen ermöglichen, welche in Zeitschriften oft schon ihres Umfanges wegen gar nicht, oder zum Nachteile der Sache nur in stark gekürzter Form erscheinen können.

Gediegene Einzeldarstellungen dieser Art, von ernsten Forschern und Sachkennern herrührend, deren Leistungen nicht entschädigt werden sollen in Abhängigkeit von geschäftlichen Überlegungen, sondern durch hochherzige Sonderstifter der einzelnen Hefte, müßten sich — so hoffen wenigstens die Unterzeichneten, die an dem Unternehmen ein ausschließlich ideelles Interesse haben — neben all' dem Guten und Brauchbaren, das die Jetztzeit auf unserem Gebiete bereits bringt, immerhin als wertvoll erweisen. — A. B e r s o n.

Herausgeber und Schriftleitung.

Ein Verzeichnis der nächstfolgenden Hefte findet sich am Schluß.

Einleitung.

§ 1.

Das Luftfahrtrecht, d. h. die Zusammenstellung der Normen, welche die Luftfahrzeuge und ihren Verkehr beherrschen, ist kein einheitlicher Rechtszweig, vielmehr handelt es sich um eine Reihe von Rechtsgebieten, welche durch die Probleme der Luftfahrt berührt werden. Man könnte es darum für allein wissenschaftlich erachten, in den entsprechenden Rechtsmaterien einfach die bei der Luftfahrt entstehenden Probleme nebenbei zu besprechen. Jedoch hängen diese Probleme wieder so sehr miteinander zusammen, daß es ein Gebot der Wissenschaft ist, sie auch in der Darstellung zusammenzufügen, allerdings mit ständiger Beziehung zu den Wissensgebieten, in welche sie einschlagen; also einen Querschnitt durch die Wissenschaften zu machen und überall die Luftfahrtsätze als Ausläufer allgemeiner wissenschaftlicher Lehren darzustellen.

Dies ist noch aus einem besonderen Grunde von größter Bedeutung. Eine große Reihe von Problemen läßt sich heutzutage noch nicht in einer Weise lösen, daß die Lösung als geltendes Recht erscheinen kann, sofern man unter geltendem Recht dasjenige versteht, was in Gesetz oder Praxis zum bestimmten Ausdruck gekommen ist; in vielen Beziehungen muß hier die Wissenschaft schöpferisch vorgehen und diejenige Rolle spielen, welche dem Richter zukommt, wenn er Fragen zu entscheiden hat, die das geltende Recht offen läßt. Die Wissenschaft hat dann eine gesetzgeberische Gewalt, welche jeder kennt, der sich mit völkerrechtlichen Fragen und Aufgaben beschäftigt hat.

Dies erheischt vor allem eine zusammenfassende Darstellung, welche Unbekanntes an Bekanntes, Unsicheres an Sicheres anreicht und der Aufgabe und den Zwecken des Ganzen die teleologische Entscheidung zu entnehmen sucht. Die Frage des privatrechtlichen Luftraumeigentums, der staatsrechtlichen Luftraumherrschaft, die Frage der Entschädigungspflicht, die Frage der Neutralität, die Zulässigkeit völkerrechtlicher Einwirkungen, die verschiedenen Fragen des internationalen Zivil- und Prozeßrechtes, alle haben gemeinsame Berührungspunkte und lassen sich nur von einem Gesichtspunkte aus richtig lösen, von dem aus man das ganze Gebiet übersieht.

Damit ist das Luftfahrtrecht als einheitlicher Gegenstand wissenschaftlicher Darstellung gerechtfertigt.

Die bisherige Literatur ist nicht unbeträchtlich; in Frankreich hat sich eine besondere Regsamkeit entwickelt, und man hat eine eigene Zeitschrift gegründet, *Revue juridique internationale de la locomotion aérienne*, welche im 2. Jahrgang steht. Fauchille vor allem hat durch seinen Gesetzesvorschlag und

seine Begründung die Sache wesentlich gefördert; vgl. auch Nys, *Revue de droit intern. et législ. comp.* IV p. 501 f.

In Deutschland sind namentlich folgende Schriften zu verzeichnen: Meili, *Das Luftschiff und die Rechtswissenschaft*, Zitelmann, *Luftschiffahrtsrecht*, Meurer, *Luftschiffahrtsrecht*, Bodenheim, *Das Privatrecht der Luftschiffahrt*, Warschauer, *Luftrecht*, Alex. Meyer, *Erschließung des Luftraumes*, Grünwald, *das Luftschiff in völkerrechtlicher und strafrechtlicher Beziehung*, Würth, *Luftzollrecht*, Sperl, *Luftschiffahrt vom Standpunkte der Rechtswissenschaft*¹⁾; dazu erwähne ich meinen Aufsatz: *Die Luftschiffahrt im Völkerrecht* in *Zeitschr. f. Völker- und Bundesstaatsrecht* IV, S. 588 f.

In Italien ist eine gründliche Darstellung erschienen, Catellani, *Il Diritto Aëreo* und in England eine lehrreiche Schrift von Hazeltine, *The law of the air*. Dazu treten die amerikanischen Aufsätze von Baldwin, Kenny, Kuhn.

Von Bedeutung waren, abgesehen von Pariser Kongressen²⁾, der Kongreß von Verona 1910 und die Madrider Verhandlung des Instituts für Internationales Recht 1911; ferner der Luftfahrttag in Rom 25.—27. November 1911.

¹⁾ Weitere Literatur bei Sperl in der *Revue générale de droit intern. publ.* XVIII p. 473, worauf verwiesen wird, da eine erschöpfende Aufzählung hier nicht beabsichtigt ist.

²⁾ Premier congrès du comité juridique international de l'aviation, 31. Mai und 1. Juni 1911, *Locom. aër.* II p. 283 f.

I. Privatrecht.

1. Personen und Sachenrecht.

§ 2.

Eine besondere Regelung bedarf das Privatrecht der Luftfahrt nur nach gewissen Seiten hin; denn meistens handelt es sich um Fragen, die auch in anderen Gebieten auftreten und die nur eben auch die Luftfahrt betreffen, sofern sie in die eine oder andere Sphäre des Rechtes eingreift.

So was die Verschollenheit angeht: unser Recht kennt außer der gewöhnlichen Verschollenheit eine Kriegs-, eine See- und eine Gefahrverschollenheit; letztere (§ 17 BGB.) kommt hier in Betracht. Wer in Lebensgefahr geraten und seitdem verschollen ist, kann für tot erklärt werden; doch ist eine Probefrist von 3 Jahre abzuwarten. Als Moment der Lebensgefahr aber kann nicht der betrachtet werden, in welchem der Luftfahrer aufsteigt, denn unter Lebensgefahr im Sinne des § 17 ist eine präsente, nicht eine eventuelle Lebensgefahr zu verstehen. Es kann daher nur der Zeitpunkt maßgebend sein, in welchem es sicher ist, daß das Luftfahrzeug ein die Person gefährdendes Unheil erlitten hat, und dem steht es gleich, wenn das Luftfahrzeug so lange nichts von sich hören läßt, daß ein derartiges Unheil ohne weiteres anzunehmen ist, was nach den Umständen des Falles beurteilt werden muß¹⁾. Ebenso können Fragen auftauchen über den unlauteren Wettbewerb, die etwaige Anschwärmung (Disqualifikation)²⁾, und die Patentverletzung.

Die Luftfahrzeuge gehören zu den beweglichen Sachen, sie werden daher im dinglichen Rechte nach den Grundsätzen der beweglichen Sachen behandelt; so was die Übertragungen des Eigentums betrifft durch Besitzübergabe, durch Übergabe *brevi manu*, durch Konstitut und eventuell durch bloßen Vertrag, § 931 f. BGB. Es kann daher beispielsweise auch ein Fahrzeug, das verloren gegangen ist und vielleicht später auftaucht, durch bloßen Vertrag, oder, wie das BGB. sagt, durch Übertragung des Herausgabeanspruchs zu Eigentum übertragen werden; und wird ein etwa im Mietbesitz eines anderen befindliches Fahrzeug übereignet, so hat der Erwerber den Mietvertrag auszuhalten, § 986 BGB. Das Pfandrecht daran ist ebenfalls ein bewegliches Pfand; es wird bestellt durch Einigung und Übertragung, sei es nun an den Pfandgläubiger oder an einen Treuhänder. Alle Bestimmungen, welche von der Übertragung der Pfandforderung und der damit verbundenen Übertragung des Pfandrechtes handeln, gelten auch hier; ebenso die Bestimmungen über die Verwertung des Pfandes durch Verkauf, § 1234 f. BGB. Die Pfändung geschieht durch Signierung.

¹⁾ Lehrbuch des bürgerl. Rechts I, S. 291.

²⁾ Seinetrib. 14. Dez. 1911 (Sportnachricht).

Angezeigt wäre es allerdings, für die Übertragung und Verpfändung die bei Grundstücken und Seeschiffen üblichen Publikationsmaßregeln zu wahren; insbesondere wäre es empfehlenswert das Pfandrecht nach § 1260 f. BGB. zu gestalten und namentlich zu bestimmen, daß die Verwertung nur kraft vollstreckbaren Titels nach den Grundsätzen der Zwangsvollstreckung geschehen könnte; und auch für die Zwangsversteigerung wäre ein Verfahren nach Rechtsähnlichkeit des § 162 Zwangs-Verst.-Ges. angemessen.

Der Grundsatz, daß ein segelfertiges Schiff nicht der Zwangsvollstreckung unterliegt (§ 482 BGB.), ist auch auf Luftschiffe anwendbar.

Besondere Rechtsverhältnisse können für die Aufstieg- und Abstiegstätten eintreten. Hier kann natürlich ein Eigentum der Luftschiffunternehmung bestehen, welches keinen anderen als den gewöhnlichen Grundsätzen unterliegt; auch eine persönliche Dienstbarkeit, und von ihr gilt, was ich längst ausgeführt habe, daß es ein Unding ist, persönliche Dienstbarkeiten stets auf das Leben einer Person zu stellen. Handelt es sich allerdings um eine juristische Person, z. B. um eine Aktiengesellschaft, dann ist die Befugnis nicht von den Fährnissen eines menschlichen Lebens abhängig; und wenn die Gesellschaft Umwandlungen erfährt, z. B. die Aktiengesellschaft in eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung übergeht, oder zwei Aktiengesellschaften sich fusionieren, dann bleibt das Recht bestehen, weil die Persönlichkeit nicht untergeht, sondern in einer höheren Einheit fortlebt¹⁾. Ist aber der Unternehmer eine physische Person, so wäre ein solches Recht gefährdet, wenn es nur bis zu ihrem Tode bestünde, und daher muß man, wie bereits anderweitig hervorgehoben, die gesetzliche Bestimmung, wenn auch mit einer gewissen Gewaltigkeit, dahin ausdeuten, daß die persönliche Dienstbarkeit an dem Unternehmen haftet, mit ihm bleibt und mit ihm übergeht²⁾.

§ 3.

Besonders eigenartig aber ist das Luftrecht des Grundeigentümers; denn wenn auch dieses auf dem Grundsätze des Eigentums beruht, so treten doch durch die Luftfahrt so eigentümliche Verwicklungen ein, daß es angemessen ist, es als Sonderrecht zu behandeln.

Das Eigentum an Grund und Boden und die dem Eigentum entsprechenden Besitzrechte, wie der Nießbrauch oder das Erbbaurecht, erstrecken sich in die Luftsäule hinauf, und der Eigentümer braucht im allgemeinen nur diejenigen Einwirkungen in den Luftraum zu gestatten, die entweder aus dem üblichen Nachbarverkehr entspringen oder für deren Verbot wegen der großen Höhe kein Interesse mehr spricht. Ohne diesen Grundsatz ist nicht auszukommen: Luft und Licht, ja auch der freie Himmel gehören zu den Lebensbedingungen des Menschen; Dinge, die im Luftraum geschehen, können den Boden unbewohnbar machen, oder jedenfalls die Benutzung im höchsten Grade beeinträchtigen.

Man hat hierbei allerdings auf die Unmöglichkeit verwiesen, die Grenzen

¹⁾ Deutsche Juristenzeitung XVI, S. 1261.

²⁾ Rheinische Zeitschr. III, S. 420 f.

zweier Grundstücke im Luftraume genau feststellen, solange keine besonderen Vorrichtungen für die Markierung der Vertikallinie vorhanden sind; indes diese Schwierigkeit hindert die grundsätzliche Richtigkeit nicht, ebensowenig wie bei den Gewässern, wo eine solche Grenzscheidung im einzelnen oft kaum durchführbar ist. Das Recht ist für das Leben da und nicht für die Mathematik, und das Leben macht die Grenze genügend bemerklich, wenn auch die Geometrie gebriecht. Außerdem ist anzunehmen, daß die Zukunft Mittel der Feststellung finden kann und finden wird.

Auf der anderen Seite drängen allerdings unsere modernen Bedürfnisse dahin, den Luftraum in der einen oder anderen Weise frei zu verwerten, und hier hat man sich auf die obige Beschränkung bezogen und ausgesprochen: je höher der Luftraum vom Boden entfernt ist, umso weniger wird die Benutzung ein Interesse des Eigentümers verletzen.

Der Grundsatz, daß das Eigentum nicht mehr durchgreift, wo wegen Entfernung vom Boden das Interesse gebriecht, findet sich im Deutschen und im Schweizer Gesetzbuch, im Deutschen § 905 und im Schweizer § 667. Schon früher bestand eine ähnliche Bestimmung im Graubündener Gesetzbuch § 195.

Das Deutsche BGB. § 905 lautet: Das Recht des Eigentümers eines Grundstücks erstreckt sich auf den Raum über der Oberfläche und auf den Erdkörper unter der Oberfläche. Der Eigentümer kann jedoch Einwirkungen nicht verbieten, die in solcher Höhe oder Tiefe vorgenommen werden, daß er an der Ausschließung kein Interesse hat.

Das Schweizer ZivilGesB. § 667 besagt: Das Eigentum an Grund und Boden erstreckt sich nach oben und unten auf den Luftraum und das Erdreich, soweit für die Ausübung des Eigentums ein Interesse besteht.

Die deutsche Fassung ist vorzuziehen; denn hier ist folgendes zum Ausdruck gebracht: Nicht nur theoretisch sondern auch praktisch reicht die Eigentums-sphäre in die höchste Höhe hinan; das Eigentum ist nur damit belastet, daß Einwirkungen, welche den Eigentümer nicht berühren, seinem Verbote nicht mehr unterliegen; dagegen darf man sich der Auffassung nicht hingeben, als ob in einer bestimmten Höhe, von welcher aus erfahrungsgemäß Einwirkungen den Erdboden nicht mehr berühren, das Eigentum überhaupt aufhöre zu existieren; denn wo heute keine schädigenden Einwirkungen mehr möglich sind, sind sie morgen möglich, und Regionen, die früher ohne jede Verbindung mit dem Erdboden waren, können jetzt durch Vermittlung des Luftfahrzeugs mit ihm verbunden werden. Auch ist es unrichtig, anzunehmen, daß überhaupt Einwirkungen von höchsten Höhen aus den Eigentümer nicht mehr verletzen können; denn nicht nur kann das Auswerfen schwerer, fester Gegenstände verderblich werden, sondern ein Luftfahrzeug kann herabgerissen werden und Schaden anrichten. Man muß vielmehr umgekehrt sagen: diejenigen Betätigungen, welche den Eigentümer nicht beeinträchtigen, sind statthafte Lizenzen: das Eigentum besteht, aber es muß sich gewisse Einwirkungen Dritter gefallen lassen; ob diese aber unschuldig sind oder nicht, ist nur im besonderen Fall zu entscheiden: eine bestimmte Höhe, welche den Dritten absolut immunisiert, gibt es nicht.

Die richtige Fassung geht also nicht dahin, daß etwa eine horizontale Grenze in bestimmter Höhe gezogen wird, von welcher aus die Berechtigung des Eigentümers aufhört. Das wäre ja auch ganz irrationell; man kann nicht wissen, mit welchen Mitteln ein Grundeigentümer künftig sich in die Höhe erheben kann, nicht nur durch Türme wie den Eifelturm und Funkentelegraphentürme, sondern auch durch daran befestigte Fesselballons u. a. Man kann auch nicht wissen, mit welchen Mitteln man künftig von oben nach unten zu wirken vermag. Auch in dieser Beziehung muß man mit den unbegrenzten Möglichkeiten der Zukunft rechnen. Vielmehr geht das Eigentum so weit als möglich, und nur gewisse Betätigungen Dritter müssen geduldet werden, sofern sie die Interessen des Grundeigentums nicht stören, oder auch kraft eines Sonderrechts, wenn die Störung durch überwiegende öffentliche Interessen gerechtfertigt ist.

Von besonderer Bedeutung für die Geschichte dieser Theorie war im englischen Recht eine Entscheidung des Lord Ellenborough von 1815. Während Coke und Blackstone¹⁾ davon ausgehen, daß das Eigentum bis zum Himmel hinauf reicht, macht Lord Ellenborough einige Beschränkungen und sagt folgendes:

„I do not think it is a trespass to interfere with the column of air superincumbent on the close I am by no means prepared to say that firing across a field in vacuo, not part of the contents touching it, amounts to a „*clausum fregit*“²⁾. Nay, if this board overhanging the plaintiffs garden be a trespass, it would follow that an aeronaut is liable to an action *quare clausum fregit* at the suit of the occupier of every field over which his balloon passes in the course of his voyage. Whether the action may be maintained would depend upon the length of time for which the superincumbent air is invaded. If any damage arises from the object which overhangs the close, the remedy is by an action on the case.“

So hat denn auch die englische Entscheidung *Clifton v. Bury* 4 Times Law Review 8 (Hazeltine p. 68) in einem besonderen Falle erklärt, daß das Schießen einer Kanonenkugel bei einer Höhe von 75 Fuß über dem Gelände nicht mehr ein *trespass* sei.

Im übrigen hat sich die Frage des Luftrechts neuerdings namentlich im *Telegraphen-* und im *Jagdwesen* geregt.

Man hat vielfach ausgesprochen, daß das Überspannen mit elektrischen Drähten regelmäßig eine Beeinträchtigung des Eigentums ist³⁾. Vergl. Trib. Tours 19. I. 1887, Dalloz 1900 II. p. 361 (Note):

Le fait par la société d'avoir placé audessus de la propriété des demandeurs des fils destinés à soutenir sa cheminée et un câble conducteur de la lumière électrique, quelle que soit leur élévation audessus du sol, constitue un trouble à la propriété.

Trib. Compiègne 19. XII. 1888, Dalloz 1900 II, p. 361 (Note):

L'espace aérien, c'est-à-dire la partie utilisable existant au-dessus du sol ne peut, comme étant compris dans la propriété du sol, être utilisé sans l'autorisation du propriétaire.

¹⁾ Blackstone II 2, 18: Land hath also, in its legal signification, an indefinite extent, upwards as well as downwards.

²⁾ Vgl. Blackstone III 12, 209: Every unwarrantable entry on another's soil the law entitles a trespass by breaking his close; the words of the writ of trespass commanding the defendant to shew cause, *quare clausum querentis fregit* . . .

³⁾ Die Hinweise auf diese und andere Entscheidungen sind (ebenso wie andere Verweisungen den lehrreichen Arbeiten von Lycklama in *Locom. aérienne* I p. 274 f. zu verdanken.

So Friedensgericht Lille 15. XI. 1899, Dalloz 1900 II, p. 631:

Il est indéniable que l'existence de fils et surtout de câbles électriques posés au-dessus d'un immeuble n'est pas sans gêne et sans inconvénients pour le possesseur du fonds et que la rupture toujours possible d'un câble peut y occasionner des dégâts; qu'il suffit d'un préjudice éventuel pour justifier l'action possessoire en complainte.

So Trib. Bordeaux 27. XI. 1908, Locom aér. I, p. 84:

Le législateur a défini avec précision les cas, dans lesquels la règle de l'art. 552 reçoit actuellement exception, mais que les exceptions étant de droit étroit elles ne sauraient être étendues au profit d'autres que ceux qui ont été visés dans la loi (es handelte sich um das Gesetz vom 15. 6. 1906 — vgl. unten S. 8).

Auch in England wurde in Bezug auf die Telegraphendrähte der Satz ausgesprochen, daß das Recht des Grundeigentümers in die unbestimmte Höhe reicht und daß das Anbringen von Drähten in irgend einer Höhe Verletzung des Eigentums sei, so *Wandsworth Board of Works v. The United Telephon Co., Finchley Electric Lightning Co. v. The Urban District Council* (bei Hazeltine p. 64).

Für das J a g d r e c h t kommt die gleiche Frage in Betracht. Der auf seinem Jagdgebiete Stehende darf nicht in das Jagdgebiet des Anderen schießen; dieses Jagdgebiet erstreckt sich auch auf den Luftraum und die dort befindlichen Vögel.

Die Ansicht ist in der französischen Praxis allerdings nicht unbestritten, aber vorwiegend.

Trib. Douai 13. XII. 1879, Dalloz 1880, III, p. 103¹⁾:

Il faut . . . se demander, si l'air qui nous environne, si l'espace qu'on appelle le domaine des oiseaux peut être considéré comme étant la propriété exclusive du propriétaire du sol pour la partie de cet espace qui correspond à l'étendue du terrain dont il est propriétaire; que la négative selon ce qu'enseigne d'ailleurs la doctrine ne paraît pas pouvoir faire de doute.

Appellhof Amiens 19. II. 1896, Dalloz 1896, II, p. 464 (auch in Locom. aér. I, p. 51):

Le fait de tirer d'un endroit où on a le droit de chasse sur un gibier qui se trouve audessus d'un endroit où on n'a pas le droit de chasse, constitue incontestablement le délit de chasse sur le terrain d'autrui, le droit de propriété s'étendant aussi bien audessus du sol qu'à sa surface.

So auch der Appellhof Paris 18. IV. 1864, Dalloz 1880, III, p. 103 (Note).

Ferner Appellhof Lyon 9. IV. 1903, Dalloz 1906, II, p. 178:

Au moment où il a tiré ses deux coups de fusil les canards se trouvaient encore audessus de la Saône, d'où ils venaient de se lever ²⁾.

Auch bei uns nimmt man an, daß das Schießen vom eigenen Jagdrevier in das fremde Gebiet Verletzung des Jagdrechtes sei; daher entschied auch das Preuß. Obertrib. 16. VI. 1869 umgekehrt, daß das Schießen von fremdem Jagdgebiet in das eigene kein Jagdvergehen sei, höchstens liege das Delikt des unbefugten Betretens des fremden Jagdgebietes in Jagdrüstung vor³⁾. Es handelte sich allerdings

¹⁾ Bestätigt vom Appelh. Douai 11. Februar 1880. Doch ist der Appellhof Douai am 8. Juni 1887 Dall. 1896, II p. 469. von dieser Ansicht zurückgekommen.

²⁾ Vgl. die Zitate ebenda Note 1. Man darf in Frankreich nur mit Staatsgenehmigung über öffentlichen Flüssen schießen.

³⁾ Goldammer Archiv XVII S. 663. Hierzu Dickel in Loreys Handb. der Forstwissenschaft S. 285.

nicht um einen im Luftraum befindlichen Vogel, und die Entscheidung hat darum keine volle Schlußkraft.

§ 4.

Von Lizenzen, welche das Lufteigentum beschränken, war oben die Rede.

Nach zwei Richtungen hin hat die Gesetzgebung sich genötigt gesehen besondere Lizenzen zu geben, nämlich für elektrische Stromleitungen, welche dem öffentlichen Nutzen dienen, und für die Funkentelegraphie.

Man vergleiche: Deutsches Telegraphenweggesetz vom 18. XII. 1899.

§ 12 Die Telegraphenverwaltung ¹⁾ ist befugt, Telegraphenlinien durch den Luftraum über Grundstücke, die nicht Verkehrswege im Sinne dieses Gesetzes sind, zu führen, soweit nicht dadurch die Benutzung des Grundstücks nach den zur Zeit der Herstellung der Anlage bestehenden Verhältnissen wesentlich beeinträchtigt wird. Tritt später eine solche Beeinträchtigung ein, so hat die Telegraphenverwaltung auf ihre Kosten die Leitungen zu beseitigen.

Beeinträchtigungen in der Benutzung eines Grundstücks, welche ihrer Natur nach lediglich vorübergehend sind, stehen der Führung der Telegraphenlinien durch den Luftraum nicht entgegen, doch ist der entstehende Schaden zu ersetzen. Ebenso ist für Beschädigungen des Grundstücks und seines Zubehörs, die infolge der Führung der Telegraphenlinien durch den Luftraum eintreten, Ersatz zu leisten.

Die Beamten und Beauftragten der Telegraphenverwaltung, welche sich als solche ausweisen, sind befugt, zur Vornahme notwendiger Arbeiten an Telegraphenlinien, insbesondere zur Verhütung und Beseitigung von Störungen, die Grundstücke nebst den darauf befindlichen Baulichkeiten und deren Dächern, mit Ausnahme der abgeschlossenen Wohnräume, während der Tagesstunden nach vorheriger schriftlicher Ankündigung zu betreten. Der dadurch entstehende Schaden ist zu ersetzen.

Französisches Gesetz sur les distributions d'énergie, 15. juin 1906.
Art. 12. § 2.

La déclaration d'utilité publique d'une distribution d'énergie confère au concessionnaire le droit de faire passer les conducteurs d'électricité au-dessus des propriétés privées ²⁾.

Italienisches Gesetz vom 7. Juni 1894 Nr. 232 über trasmissione a distanza delle correnti elettriche (gegen Entschädigung), Gesetz v. 15. Februar 1903 Nr. 32, Dekret v. 3. Mai 1903 Nr. 196a 4 ff. (gegen Entschädigung).

Für England galt zunächst die Telegraph Act. 1863 (26 & 27 Vict. Cap. 112).

Sec. 21. The company shall not place any work by the side of any land or building, so as to stop, hinder or interfere with ingress or egress for any purpose to or from the same, or place any work under, in, upon, over, along, or across any land or building, except with the previous consent in every case of the owner, lessee, and occupier of such land or building.

Spätere Gesetze erweiterten das Telegraphenrecht, so Gesetz von 1878 (41, 42 Vict. c. 76); ja sie gaben ein gewisses Enteignungsrecht, wobei die Railway and Canal Commissioners die Entscheidung zu geben haben, vorbehaltlich der Anrufung des Parlaments

So Gesetz von 1892 (55, 56 Vict. c. 59 a. 2).

If the Postmaster-General considers that the inhabitants of any district . . . are debarred from the public convenience of telegraphic communication owing to the refusal or failure of any person being the occupier, lessee or owner of any land or building to

¹⁾ Mit Rücksicht auf das Telegraphenmonopol.

²⁾ Früher Gesetz 28. 7. 1885 zugunsten der staatlichen Telegraphie.

consent to the construction . . . he may apply to the Railway and Canal Commission, and that Commission if satisfied . . . may make an Order consenting to the construction or maintenance of the work either unconditionally or subject to such pecuniary or other terms, conditions and stipulations as the Commission think just and such consent shall have effect as a consent given by the said person to the construction or maintenance of such work.

Der Beeinträchtigte kann aber in einem Monat verlangen, daß die Sache dem Parlament vorgelegt werde und dann soll der Order

shall have no effect until confirmed by Parliament.

Und in der Telegraph (Construction) Act. v. 1908 (8 Ed. 7, c. 33) heißt es:

5. — (1) Where any tree overhangs any street or public road and obstructs or interferes with the working of any telegraphic line constructed along that street or road or will obstruct or interfere with the working of any telegraphic line about to be so constructed, the Postmaster-General may give notice to the owner and to the occupier of the land on which the tree is growing, requiring the tree to be lopped so as to prevent the obstruction or interference.

(2) If within one month from the service of notice by the Postmaster-General the owner or the occupier of the land on which the tree is growing gives a counter-notice to the Postmaster-General objecting to the lopping of the tree, a difference shall be deemed to have arisen between the Postmaster-General and that owner or occupier, and sections four and five of the Telegraph Act, 1878, shall apply accordingly as if it were a difference under that Act.

(3) If on the expiration of one month after notice is given by the Postmaster-General under this section, neither the owner nor the occupier has complied with the notice, or given a counter-notice under this section, or if the authority determining a difference under this section make an order in that behalf, the Postmaster-General may himself cause the tree to be lopped, and section seven of the Telegraph Act, 1863 (which relates to compensation), shall apply to the exercise of that power by the Postmaster-General.

Der Funkentelegraphenvertrag vom 3. November 1906 geht davon aus, daß jeder Eigentümer sich das Passieren der Hertzschen Wellen gefallen lassen muß. Dies ergibt sich schon aus dem dort vorgesehenen Verhältnis zwischen den Küstenstationen und den Bordstationen und dem Anschluß an die Telegraphenleitungen des Landes. Hierbei ist aber zu bemerken, daß das Passieren der Wellen durch die Luftsphäre kaum Belästigungen mit sich führt, namentlich dann nicht, wenn die Funkentelegraphie wie bei uns monopolisiert ist, mithin die Apparate eines Privaten nicht etwa durch Einziehung dieser Wellen gestört werden können.

Einige Gesetze haben im Interesse der Industrie noch weitere Beschränkungen des Eigentümers verfügt: so das italienische Gesetz vom 13. Juni 1907 Nr. 403, welches den Eigentümer (gegen Entschädigung) verpflichtet, Kabels von funiculari aeree für Beförderung von Landprodukten und für industrielle Zwecke zu dulden¹⁾.

§ 5.

Hierzu tritt nun die Luftfahrt als bedeutungsvolle Neuerscheinung, welche die Benutzung der fremden Luftsäule zur unentbehrlichen Voraussetzung hat. Die Durchquerung der fremden Luftsäule verbieten, würde einfach der Luftfahrt die Möglichkeit nehmen und uns ein wichtiges Kulturgut ent-

¹⁾ Rheinische Zeitschr. III S. 421.

ziehen. Daß auf der anderen Seite eine erhebliche Belästigung des Eigentums möglich ist, kann nicht in Abrede gestellt werden; denn, wenn wir uns denken, daß eine Flugmaschine einen Garten, in welchem eine diskrete Belustigung stattfinden soll, stundenlang umkreist, oder ein Luftschiff in kurzen Zwischenräumen immer auf dieselbe Beobachtungshöhe zurückkommt, so würde dies zu unerträglichen Zuständen führen. Und welche Belästigungen für Grundstücke durch die Nähe einer Aufstiegsstelle entstehen können, darüber weiß uns eine Klage zu berichten, welche in *Locom. aérienne* II p. 94/95 zum Abdruck gelangt ist. Hier heißt es:

..... que quotidiennement ses appareils évolent à toute heure du jour, et cela depuis plusieurs mois, à une très faible hauteur au-dessus des propriétés voisines, et notamment de celles des exposants. Que la circulation presque incessante des aéroplanes qui tournent en cercle au-dessus des propriétés voisines, trouble profondément la jouissance des exposants; que, par leur présence seule et le bruit des appareils qui évolent ainsi qu'il vient d'être dit à une faible distance du sol, quelquefois à moins de 5 mètres, quand même ils ne roulent pas par terre, ils effraient les animaux domestiques tels que chevaux, moutons, vaches et boeufs et rendent impossible l'exercice du droit de chasse par suite de la disparition du gibier qui s'est effrayé et dispersé. Qu'en évolant et en circulant d'une façon continue au-dessus de ses voisins, M. F. commet une violation des droits de propriété des exposants, violation qui doit être sévèrement réprimée.

Und geht das Fahrzeug so niedrig, daß die Insassen sich förmlich innerhalb eines umschlossenen Raumes befinden, man denke z. B. an die amerikanischen Roofgardens, dann kann selbst Hausfriedensbruch vorliegen.

Aber auch das in höchsten Höhen befindliche Luftfahrzeug kann Gefahren mit sich bringen durch die Notwendigkeit plötzlichen Absteigens und durch das Hinunterwerfen fester Gegenstände. Man kann deshalb durchaus nicht sagen, daß die Anwesenheit von Luftfahrzeugen in bestimmter Höhe für den Eigentümer interesselos sei. Die Bestimmung unseres § 905 trifft daher streng genommen nicht zu. Allein hier muß man zu dem weiteren Satze greifen: gewisse Störungen muß sich der Eigentümer gefallen lassen und er muß hierzu die Lizenz geben, wenn ein starkes Kulturbedürfnis die Einwirkung nötig macht. Dies haben bereits obige Bestimmungen des Telegraphenrechts gelehrt. Damit ist Individual-eigentum und Gesamtkultur versöhnt. Ob in gewissen Fällen eine Entschädigung angezeigt ist, muß nach den Umständen beurteilt werden.

Daß aber eine derartige Lizenz mit aller Diskretion behandelt werden muß, ist selbstverständlich. Daher gilt folgendes:

1. Das Luftfahrzeug und die Fahrer haben sich in entsprechender Höhe zu halten, da sonst durch die Beobachtung, die Luftbewegung, das Geräusch, das Auswerfen von Gegenständen Belästigung entstehen können, welche nicht durch das Kulturbedürfnis absolut geboten sind.

2. Gewisse Gebiete können der Luftfahrt ganz entzogen werden, so daß nur im Notfalle darüber hinweggeglitten werden darf. Dahin gehören insbesondere Festungswerke und alle Anstalten, deren Einrichtung im Interesse der Landesverteidigung geheim gehalten werden soll, z. B. auch Hafenanlagen usw. Soweit es sich hier um öffentliches Eigentum handelt, haben die Bestimmungen nicht nur privatrechtlichen, sondern auch polizeilichen Charakter, da die Regelung des Verkehrs in bezug auf die Grundstücke des Gemeingebrauchs der Polizei anheim-

fällt. Das gleiche gilt aber auch von Fabriken, welche der Explosionsgefahr ausgesetzt sind, und ähnlichem.

3 Für die Schüler der Luftfahrt müssen besondere Örtlichkeiten angewiesen werden, wo ihr noch unregelter Flug keine besonderen Gefahren für Dritte herbeiführt, natürlich zunächst auf den hierfür bestimmten Luftfahrplätzen; aber auch für umliegende Gelände sollen die nötigen Vorsichtsmaßregeln getroffen werden.

4. Die Gewerbepolizei kann solche und weitere Bestimmungen geben, von welchen später (S. 18f.) die Rede sein wird.

Allerdings kann auch von seiten des Eigentümers das eintreten, was man Neidbau nennt; so insbesondere, wenn der Nachbar Stacheldrähte oder andere Dinge anbringt, welche die Luftfahrt in der nächsten Nähe unmöglich machen. Der § 226 BGB. muß auch hier in Anwendung kommen: ein Luftfahrplatz darf nicht auf solche Weise funktionsunfähig gemacht werden, vorausgesetzt, daß alle Erfordernisse erfüllt sind, welche das Nachbarrecht billigerweise verlangt.

2. Schuldrecht.

§ 6.

Unter die Schuldverhältnisse, zu welchen das Luftfahrzeug Veranlassung gibt, gehört vor allem der Dienst- und Werkvertrag. Einmal der Dienstvertrag zwischen dem Inhaber des Luftfahrzeugs und dem Lenker und den übrigen Arbeitspersonen. Dieser Vertrag hat seinen besonderen Charakter darin, daß er ein Vertrag starken Vertrauens ist und es dem Dienstherrn stets gestattet sein muß, da sofort zu kündigen, wo sich eine Vertrauensunwürdigkeit zeigt, sei es in dem technischen Können, sei es in dem moralischen Verantwortungsgefühl. Daß jedenfalls der Dienstherr den Lenker stets entlassen kann unter Zahlung der bedungenen Vergütung, versteht sich schon nach allgemeinen Grundsätzen von selber: eine weitere Entschädigung als diese Vergütung kann er nicht beanspruchen, und insbesondere kann er nicht etwa eine Anforderung darauf bauen, daß ihm hierdurch die Gelegenheit entgeht, sich weiter zu bilden oder Ruf und Ansehen zu erwerben. Bei einem größeren Dienstpersonal wird eine Arbeitsordnung nötig werden; vielleicht auch eine Musterrolle, wie nach der Seemannsordnung § 7ff.

Eine wesentlich andere Bedeutung hat der Werkvertrag, welchen Insassen eines Luftfahrzeugs mit dem Besitzer und „Halter“ dieses Fahrzeugs abschließen. Der Vertrag geht dahin, daß der Halter des Fahrzeugs den Insassen eine bestimmte oder unbestimmte Strecke befördert: der Insasse gilt als Besteller, der Luftschiffhalter als Unternehmer. Die Grundsätze sind die gewöhnlichen und brauchen hier nicht näher ausgeführt zu werden. Insbesondere braucht der Insasse nur zu zahlen, wenn die Beförderung stattfindet. Sollte aber die Beförderung teilweise erfolgen und das Fahrzeug zur Landung genötigt sein, dann müßte eine entsprechende Distanzfracht entrichtet werden. Ist allerdings nicht eine bestimmte Strecke, sondern nur eine Umfahrt bedungen, so ist die Auswahl des Weges dem Luftfahrer anheimgestellt, und er kann sich hier nach den Luftströmungen und anderen Umständen richten. Hat der Fahrgast die Reise bestellt, so ist er selbstverständlich nicht verpflichtet, sie auch auszuführen, sondern nur die entsprechende Vergütung zu ent-

richten, und davon kann er Abzüge machen, wenn an seiner statt ein anderer Teilnehmer gewonnen wird oder ohne Mühe hätte gewonnen werden können; und wenn infolge der Abbestellung das ganze Fahrzeug nicht zu fahren braucht, so müssen die Grundsätze der Fautfracht angewendet werden: die Höhe der Fautfracht ist einstweilen, solange nicht bestimmte gesetzliche oder gewohnheitsmäßige Sätze gelten, nach Billigkeit abzuschätzen.

Der Passagier aber übernimmt es nicht nur, sorgfältig mit dem Fahrzeug und seinen Innengeräten umzugehen, sondern auch, sich so zu verhalten, wie es den Bedingungen der Luftfahrt entspricht. Er muß deswegen alles, was die Luftreise gefährdet, unterlassen, und da er sich in dieser Beziehung dem technischen Befinden des sachverständigen Leiters unterwerfen muß, so versteht es sich von selber, daß er die Anweisungen des Führers zu befolgen hat, soweit sie überhaupt in der Sphäre des Vernünftigen liegen. Das gilt sowohl während der Fahrt als auch beim Auf- und Abstieg. Gewöhnlich wird deswegen von den Teilnehmern ein ausdrücklicher Revers verlangt, daß sie sich vom Beginn der Luftfahrt an vollkommen den Geboten des Lenkers fügen. Dies ist nichts Besonderes, es gilt auch für die Seeschifffahrt, wenn es sich z. B. darum handelt, daß in der Kajüte die Luken geschlossen werden sollen oder gewisse Räume des Schiffes zeitweise unzugänglich sind.

Mit Personen, welche bloß der Probe halber mitfahren oder schenkungsweise mitgenommen werden, wird ein einseitig widerruflicher unentgeltlicher Werkvertrag abgeschlossen. Auch bei einem solchen Vertrag verspricht der Fahrer eine sorgfältige Behandlung der Sache, und er haftet für alles Verschulden; doch ist in jeder Beziehung der Maßstab milder zu nehmen als bei einem eigentlich geschäftlichen Handeln, noch milder dann, wenn die Beförderten selber zum voraus erklärt haben, auf jeden Schadensersatzanspruch zu verzichten. Dies befreit allerdings weder von der Haftung für Vorsatz noch von der Fahrlässigkeitshaftung, denn auch in letzterer Beziehung ist die Beobachtung der Vorsicht ein nicht nur privates, sondern öffentliches Interesse; auch trifft die prinzipielle Herabstimmung der Haftung auf eine Haftung für grobes Verschulden nur bei der Schenkung und Leihe, nicht bei der unentgeltlichen Dienstleistung zu (BGB. 521, 599). Aber der Richter kann zu- und abgeben und muß in solchem Falle eine mildere Behandlung eintreten lassen. Daß aber auch hier die Insassen sich den Weisungen zu fügen haben, versteht sich von selbst.

Wenn zwei miteinander in der Flugmaschine fahren, wovon der eine lenkt und der andere die Karten liest oder sich auch nur passiv beteiligt, um eine Fahrt zu zweit zu ermöglichen, so ist ein Gesellschaftsverhältnis anzunehmen, bei dem beide dazu mitwirken, einen bestimmten Erfolg zu erzielen: ein Vermögenserfolg braucht dies nicht zu sein. Daß auch hier der „stille“ Gesellschafter sich dem Führer vollkommen fügen muß, versteht sich von selber; denn dem Führer muß die Operationsfreiheit in vernünftigen Schranken zustehen, — wie bei dem Werkvertrag, so bei dem Gesellschaftsvertrag.

Die Haftung aber, die sonst bei dem Gesellschaftsvertrag zu einer Haftung wie in eigenen Angelegenheiten vermindert ist, muß hier zur Vollhaftung gesteigert werden, denn das öffentliche Interesse gebietet die möglichste Vorsicht — auch hier vorbehaltlich einer milderen Schätzung im einzelnen Fall.

Der Halter des Luftfahrzeugs haftet bei allen diesen Verträgen für Lenker und

Arbeitspersonen, denn es gehört zu seinen obligationsrechtlichen Leistungen, daß er die Leute befördert und alles von ihnen abwendet, was die Unversehrtheit von Personen und Habe gefährdet; es handelt sich also um Vertragserfüllung, und hier trifft § 278 BGB. vollständig zu: der Verpflichtete leistet eben nicht durch sich, sondern durch seine Leute, und ihre Leistungen sind seine Leistung.

§ 7.

Was die außerkontraktliche Haftung angeht, so ist das Verhältnis von Luftfahrzeug zu Luftfahrzeug wohl zu unterscheiden von dem Verhältnis zwischen dem Luftfahrzeug und der Erde samt allem, was die Erde berührt.

In erster Beziehung haftet der Halter des Fahrzeugs für alles Verschulden, aber auch nur für Verschulden. Und was hier die Verhältnisse zwischen dem Halter und dem Lenker und Arbeitspersonal betrifft, so wäre an sich der § 831 BGB. anwendbar, so daß der Fahrzeughalter sich dadurch entschuldigen könnte, daß er in der Auswahl und Überwachung der Personen volle Sorgfalt gewahrt habe; auch wäre die Haftung nur gegeben, soweit diese Personen innerhalb des Kreises der ihnen zukommenden Verrichtungen gehandelt haben. Doch: eine derartige Haftung genügt für gewöhnliche Lebensverhältnisse, aber sie ist für diese mächtigen Gefahren nicht ausreichend; ebenso wie man im Autogesetz, im Haftpflichtgesetz und auch noch in anderen Fällen den Herrn vollkommen für seine Leute verantwortlich macht, ohne Rücksicht auf die Sorgfalt in der Auswahl und ohne Unterschied, ob der einzelne sich im Kreise seiner Obliegenheiten gehalten hat oder nicht, in gleicher Weise muß man auch hier die Haftung ausdehnen.¹⁾ Für Personen aber, welche nicht in seinen Diensten stehen, haftet er nicht, sofern er die nötigen Vorkehrungen getroffen hat, um sie von schädigenden Handlungsweisen abzuhalten.

Sind beide Teile im Verschulden, dann ist wie bei dem Seezusammenstoß²⁾ der Schaden entsprechend umzulegen, je nach der Größe des einen oder anderen Verschuldens. Die zu befördernden Insassen und die zur Beförderung übernommenen Waren, welche dabei zugrunde gehen, müssen natürlich vollständig vergütet werden mit entsprechender Verteilung unter die Schuldigen.

Was aber das Verhältnis zu dem Privateigentümer der untenliegenden Grundstücke und den darauf befindlichen Personen betrifft, so gilt folgendes: Eine Haftpflicht für Verschulden (Vorsatz und Fahrlässigkeit) nach § 823 BGB. genügt nicht; denn die Luftfahrzeuge treten in einen fremden Luftraum ein, und diesen Eintritt muß sich jeder mit der Haftung für alle daraus hervorgehenden Gefahren erkaufen. Nimmt man dem Eigentümer die Möglichkeit, den Eintritt zu verbieten, so muß man ihm dafür Ersatz aller Schäden gewähren. Das ist ein allgemeiner

¹⁾ Im französischen und englischen Recht versteht sich diese Haftung von selbst, C. civ. a. 1384 (die Ausnahme im letzten Absatz bezieht sich nicht auf *maîtres et commettants*); im englischen Recht is the employer liable for all torts committed by the party employed, provided first they were within the scope of the employment, and secondly were either unintentional, that is to say, amounted to mere acts of negligence, or, if, intentional, were intended to be done in the interest and for the benefit of the employer (Clerk and Lindsoll, Law of Torts p. 69 f.).

²⁾ Vgl. Brüsseler Konferenz 1910 a. 3 und 4.

juristischer Grundsatz, der sich aus dem Institut der *cautio damni infecti* ergibt und in § 867 und 1005 des BGB ausdrücklich ausgesprochen worden ist. Wie nach § 867, wer in das fremde Gebiet eintreten darf, um die dorthin geflogenen Sachen zurückzuholen, Ersatz für den durch seine Abholung erlittenen Schaden leisten muß, so auch der Halter des Fahrzeugs, welchem gleichfalls die gesetzliche Lizenz zusteht, die fremden Räume zu durchfliegen. Vgl. auch § 258 BGB.

Ist aber hier ein Schadenersatz begründet, so muß er nicht nur dem Eigentümer gewährt werden, sondern auch den Personen, welche sich auf diesem Eigentum aufhalten; denn wer sich auf fremdem Eigentum befindet, nimmt an dem Schutz des Eigentums teil: er hat sich in das geschützte Gebiet begeben; würde es beispielsweise durch eine gemeingefährliche Beschädigung der Sache verletzt, so könnte er den Schutz des Eigentümers anrufen.

Das gleiche muß natürlich auch gelten, wenn das Eigentum ein öffentliches Eigentum ist, wenn es sich z. B. um Straßen und Plätze handelt und wenn Personen, die sich hier befinden, durch das Luftfahrzeug verletzt werden. Damit ist von selber der Grundsatz gerechtfertigt: soweit durch Einwirken des Luftfahrzeugs in die Erdsphäre¹⁾ Schädigungen entstehen, hat der Halter des Fahrzeugs Ersatz zu leisten ohne Rücksicht auf Verschulden oder Nichtverschulden, also namentlich auch dann, wenn die Schäden durch ganz unvorhergesehene Ereignisse oder durch plötzlich hervortretende Mängel herbeigeführt werden.

Beruhet die Schädigung auf Notstand, so ist gleichfalls eine Entschädigungspflicht begründet, § 904 BGB.

Die Haftung des Fahrzeughalters für den Lenker und das Arbeitspersonal ist auch hier in der obigen gesteigerten Weise (S. 13) begründet.

In der amerikanischen Praxis ist diese objektive Haftung anerkannt in der New Yorker Entscheidung *Guille v. Swann*, 19 Johns, 381 (bei *Hazeltine* p. 86). *Pollock* sagt hierzu:

A man who goes up in a balloon must know that he has to come down somewhere; and that he cannot be sure of coming down in a place which he is entitled to use for that purpose, or where his descent will cause no damage and excite no objections. *Guille's Liability* was accordingly the same as if the balloon had been under his control and he had guided it into *Swann's garden*.

Also: der Aufstieg, welcher den Eintritt in fremde Luftgebiete und den Abstieg daselbst herbeiführt, macht haftbar. Vgl. *Baldwin*, *Michigan Law Review* IX. p. 21.

Auch in der französischen Praxis hilft man sich durch eine Art von *praesumptio culpae*, z. B. *Seintrib.* 24. 1. 1906 *Locomot. aérienne* I p. 20:

Cette présomption doit être considérée comme s'appliquant au propriétaire ou au pilote du ballon au cours des voyages qu'il effectue, le pilotage d'un ballon dans l'état actuel de la science ne constituant encore qu'une expérience où l'aéronaute se trouve être le jouet des éléments. Vgl. auch *Friedensgericht Cambrai* 26. 5. 1911 *ib.* II p. 267.

Ist die Beschädigung durch einen dritten nicht im Dienste Stehenden erfolgt, der z. B. einen schweren Gegenstand heruntergeworfen hat, dann haftet der Fahrzeughalter nur, wenn er nicht die erforderliche Vorsicht gewahrt, namentlich den Personen nicht die nötige Diskretion eingeschärft oder schuldhafterweise betrunken

¹⁾ Aber nur durch solche Einwirkung, nicht wenn der Anblick Pferde scheuen macht, *Seintrib.* 14. Dez. 1911 (Sportmitteilung).

oder wahnsinnige Leute aufgenommen hat. Im übrigen haftet dieser Dritte für sein Verschulden, und natürlich hat der Fahrzeughalter gegen ihn seinen Rückgriff.

Ist die Beschädigung durch Mitverschulden des Beschädigten herbeigeführt oder vergrößert worden, dann ist die Schadenersatzpflicht entsprechend zu mindern, § 254 BGB.

Es ließe sich fragen, ob nicht auch im Luftfahrtrecht die Haftung auf das Schiffsvermögen zu beschränken sei, wodurch die Lage des Fahrzeughalters wesentlich erleichtert würde. Indes hat sich der Gedanke bis jetzt nicht entwickelt, es wird auch nicht wohl gehen, ihn ohne weiteres von den Verhältnissen der Seeschifffahrt mit all ihren eigenartigen geschichtlichen und rationellen Zusammenhängen auf die Luftfahrt zu übertragen, am wenigsten auf Flieger und Flugmaschinen.

In allen Fällen haften Lenker und Arbeitsleute sowohl den Insassen wie Dritten gegenüber für ihr Verschulden. Der Lenker selbst ist nicht nur für die Lenkung, sondern auch dafür verantwortlich, daß er vor Beginn des Flugs den Apparat in der nötigen Weise untersucht und sich von seiner tauglichen Beschaffenheit überzeugt hat. Er ist auch dafür haftbar, daß der Apparat mit den erforderlichen Geräten und Bedarfsmitteln z. B. Sauerstoff versehen und alles dies leicht zur Hand ist. Sollte die Reise auf längere Zeit beabsichtigt sein, so muß auch für den nötigen Proviant gesorgt werden. In dieser Beziehung kann auf die Rechtsähnlichkeit des Seerechtes verwiesen werden.

Die etwaige Entschädigung hat sich zu erstrecken auf die Zerstörung und auf die mit der Zerstörung verbundenen weiteren Schäden. Wenn z. B., um das gelandete Fahrzeug vom Boden wegzuschaffen, noch andere Teile des Grundstückes betreten werden müssen, oder wenn sie zu betreten sind, um größeres Unheil zu verhüten, so gehört dies mit zu dem herbeigeführten Schaden: man denke an die Ähnlichkeit von Brandschaden und Feuerlöschung. Zu weit geht es aber, wenn jene New Yorker Entscheidung *Guille v. Swann* (vgl. *Hazeltine* p. 86) angenommen hat, daß auch die Beschädigungen ersetzt werden müssen, welche durch das herbeigeströmte Publikum verursacht worden sind¹⁾. Warum nicht auch, wenn sich in dem Trubel Diebe und Räuber gütlich getan haben? Das Publikum kommt nur in Betracht, soweit es aus Leuten besteht, die helfen und retten wollten.

§ 8.

Es kann sich, namentlich bei Landungen, die Notwendigkeit ergeben, Einzelgegenstände herunterzuwerfen, um dadurch das Ganze zu retten. Hier muß auf der einen Seite dem Lenker gestattet sein, auch die Habe eines fremden Eigentümers zu „werfen“; andererseits muß dann der Schaden in entsprechender Weise verteilt werden, denn die Geretteten können nicht beanspruchen, durch fremde Aufopferung gerettet zu werden. Die Grundsätze der großen Havarie müssen hier eine rechtsähnliche Anwendung finden, aber mit Rücksicht darauf, daß die Luftfahrt (auch für die Zukunft) weniger dem Warenverkehr, mehr

¹⁾ If his descent under such circumstances ordinarily and naturally drew a crowd of people about him, either from curiosity or for the purpose of rescuing him from a perilous situation, all this he ought to have foreseen, and must be held responsible for.

dem Personenverkehr dient, und daß eine Billigkeit dafür spricht, daß, wer mit seiner Person gerettet ist, wenigstens teilweise dem aufkommen muß, der durch sein Sachopfer die Rettung bewirkt hat. Derselbe Grund, welcher für einen Rettungslohn spricht, spricht auch dafür, daß in solchen Fällen das Opfer entsprechend vergütet werde. Hier überall ist das Recht noch in der Bildung begriffen und werden sich die Einzelbestimmungen in der Praxis herausarbeiten müssen.

Auch Bergung und Hilfeleistung kommen in Betracht. Wer ein Luftfahrzeug entweder in der Luft oder auf dem Lande birgt, oder zu seiner Rettung beiträgt, kann eine entsprechende Vergütung beanspruchen; wird die Vergütung bedungen, so ist der Vertrag an sich maßgebend, er kann jedoch, wenn er während der Gefahr abgeschlossen worden ist, im Falle des Übermaßes gemindert werden. Wird der Hilfeleistende dabei verletzt, so ist ihm dann Entschädigung zu gewähren, wenn er zur Hilfeleistung herbeigerufen wurde und die Beschädigung nicht auf Umständen beruht, die außer aller Berechnung liegen, vgl. über diesen Fall Seinetrib. 10. 2. 1906 Loc. aér. I p. 20.

Vergütung muß auch geleistet werden, wenn ein niedergegangenes Fahrzeug gefunden und für seine Bergung gesorgt wird. Es ist natürlich keine privatrechtliche sondern eine polizeiliche Bestimmung, wenn es heißt, daß ein jeder Finder eines Wracks davon Anzeige zu machen hat und daß die Polizeibehörde verpflichtet ist, es aufzubewahren und vor Schädigungen zu hüten. Sache des bürgerlichen Rechts aber ist es, auch hier einen Finderlohn zu bestimmen. Die Grundsätze des Bürgerlichen Gesetzbuches allerdings über Finden einer verlorenen Sache können hier nur rechtsähnlich in Anwendung kommen; der Finderlohn wird nach den Umständen zu bestimmen sein, und es sind Verordnungen zu erlassen, wonach es der Polizeibehörde zusteht, nach Ablauf einer bestimmten Zeit das Wrack zu verwerten und den Preis zu behalten, falls nicht der Eigentümer innerhalb einer gewissen Frist (3 Jahren?) das Geld herausverlangt.

Unbemannte Ballons für wissenschaftliche Zwecke sind zwar sonst den übrigen gleich zu behandeln; aber im Interesse der wissenschaftlichen Forschung ist die Pflicht, den niedergegangenen Ballon zu wahren und zu bergen, eine besonders dringende; namentlich muß dafür gesorgt werden, daß die Instrumente und die automatischen Fixierungen unverletzt bleiben. Der Finderlohn ist hier mäßig zu berechnen.

§ 9.

Die Versicherung eines Luftschiffes ist wie die Versicherung eines Automobils als Transportversicherung zu betrachten und unterliegt den Regeln dieser ¹⁾. Das ist namentlich wichtig für die Freiheit in der Vertragsschließung, § 187, für den Ausschluß des Verschuldungsschadens § 130, und für die Schadensberechnung, § 140, 144 Versicherungsvertragsgesetz, auch für die Befreiung des Versicherers von der behördlichen Aufsicht und Konzession, § 116 Privat-Versicherungs-Gesetz. Der Satz ist allerdings sehr bestritten; doch hierüber ist an anderer Stelle weiter zu handeln. Der Umstand, daß ein Luftfahrzeug nicht eine regelmäßige Beförderung übernimmt, schließt nicht aus, daß hier der Personen- und Warenbeförderungsgedanke überwiegt und daß die der Transportversicherung entsprechenden Rechtsideen auch hier zu-

¹⁾ Vgl. meine Darstellung in Dernburg, Lehrb. VI. S. 488 f.

treffen, ebenso wie sie bei der Schifffahrt auch dann gelten, wenn es sich etwa um eine Privatyacht handelt.

Der Gedanke des Abandonrechtes wird auch hier nicht abzuweisen sein; wenn ein Luftfahrzeug verschollen ist, so ist dem Versicherten die Befugnis zu gewähren, dem Versicherer alles, was etwa von dem Fahrzeug noch vorhanden sein sollte, heimzuschlagen, welcher dann dieselbe Summe zu zahlen hat, wie wenn es untergegangen wäre. Wann die Verschollenheit eintritt, ist, solange keine gesetzlichen Bestimmungen bestehen, nach den Umständen des Falles zu beurteilen. Angemessen ist es einstweilen, in Versicherungsverträgen besondere Fürsorge zu treffen.

Die Haftpflichtversicherung spielt natürlich bei dem Luftfahrzeug, ebenso wie bei dem Auto eine sehr große Rolle, und es gelten hier die Bestimmungen des Versicherungsvertragsgesetzes § 149 f., namentlich auch, was die Anzeigefrist betrifft. Man hat schon den Vorschlag gemacht, eine obligatorische Haftpflichtversicherung einzuführen und die Versicherungsanstalten, welche sich damit befassen, zu einem großen Ganzen zu vereinigen; dann hätte sich der Beschädigte einfach an diese Gesamtanstalt zu halten, welche dann wiederum gegen die Fahrer den Rückgriff nehmen müßte.

Eine derartige Behandlung der Sache hat manchen Vorzug, allerdings auch den Nachteil, daß hiernach der unvorsichtigste Fahrer versichert werden muß, wodurch die Versicherungsprämie bedeutend hinaufschnellt; indes läßt sich solches damit ausgleichen, daß man unvorsichtige Fahrer alsbald bei der Behörde anzeigt, damit ihnen die Konzession entzogen wird.

Sodann kann die Unfallversicherung in Betracht kommen, und zwar als Versicherung des Personals durch den Fahrzeughalter und als Selbstversicherung des Lenkers, § 179 fg. VersicherungsvertragsG. Auch die Gewerbeunfallversicherung kommt in Betracht, denn es handelt sich um das Halten von „anderen Fahrzeugen als Wasserfahrzeugen, welche durch elementare Kraft bewegt werden“, § 537 Z. 7 Reichsversicherungsordnung v. 19. Juli 1911: darum unterliegen die in §§ 544, 545 bezeichneten Personen der Versicherungspflicht. Von Wichtigkeit ist ferner die Feuerversicherung sowohl des Fahrzeugs, als auch der Ballonhalle. Selbst das mangelhafte Erträgnis einer Flugmaschinenvorführung ist (vom englischen Lloyd) versichert worden¹⁾.

II. Freiwillige Gerichtsbarkeit. Gewerbe- und Verkehrspolizei.

§ 10.

Die Eintragung der Luftfahrzeuge in ein bestimmtes Register eines Ortes, derals Heimatsort gilt, ist unentbehrlich; hier erhalten sie ihre individuelle Bezeichnung, ihre Flagge; das nähere ordnet der Registerstaat²⁾. Dieser erklärt auch, wie die Staatsangehörigkeit des Fahrzeugs zu bestimmen ist: regelmäßig natürlich nach

¹⁾ Lochet in *Locom. aérienne* I p. 252 f.

²⁾ Vgl. unten S. 40.

dem Lande, dem der Eigentümer als Staatsgenosse zugehört. Bei Miteigentümern aus mehreren Staaten ist entweder die Majorität maßgebend, oder es wird dem Fahrzeuge die Flagge versagt, wenn auch nur ein Miteigentümer ein Ausländer ist. Bei Aktiengesellschaften kann nur der Sitz entscheiden, welcher ihr die Nationalität gibt. Es wird Sache der Gesetzgebung und Verordnung sein, darüber Näheres zu bestimmen, namentlich ist auch zu verlangen, daß die Flagge in einer weit sichtbaren Weise angebracht wird.

Alles dieses gehört der freiwilligen Gerichtsbarkeit (des öffentlichen Rechts) an.

§ 11.

Im übrigen gilt für Luftfahrzeuge dasselbe wie für sonstige Verkehrseinrichtungen. Sind sie gestattet, so sind sie nichtsdestoweniger den polizeilichen Anordnungen unterworfen, vorausgesetzt, daß diese nicht etwa eine sachwidrige Beschränkung des Persönlichkeitsrechts, sondern eine vernünftige Anwendung der Polizeigewalt, eine reasonable exercise of the police power enthalten. Man führt in dieser Beziehung folgende amerikanische Entscheidungen an¹⁾: *Western Union Telegraph Co. v. City of Richmond* (1909), *Richmond v. Southern Bell Telephone and Telegraph Co.*, 174 U. S. 761, *Village of Jonesville v. Southern Mich. Telephone Co.*, 155 Mich. 86, *People v. Squire*, 107 N. Y. 593, *American Rapid Tel. Co. v. Hess*, 12 N. Y. Supp. 536, *Northwestern Tel. Exch. Co. v. City of Minneapolis*, 81 Minn. 140, *American Rapid Tel. Co. v. Hess*, 12 N. Y. Supp. 536, *People v. Squire*, 145 U. S. 175, *City of Carthago v. Garner*, 209 Mo. 688.

Die Polizei kann durch allgemeine Anordnungen wirken, sie kann diese Anordnungen durch Zuwiderhandlungsstrafen stärken, sie kann im einzelnen Fall Verordnungen treffen und diese durch die polizeilichen Zwangsmittel durchführen.

Der Gewerbe- und Verkehrspolizei gehören folgende Bestimmungen an:

1. Niemand darf ein Luftschiff oder ein Flugfahrzeug lenken, welcher nicht hierzu die polizeiliche Erlaubnis hat. Für Personen unter 18 Jahren soll keine Erlaubnis erteilt werden, denn die Verpflichtungen sind so schwer, daß mindestens das Alter der Volljährigkeitserklärung erreicht sein muß²⁾. Außerdem ist diese Erlaubnis an eine Lehrzeit und eine Erprobung zu knüpfen; sie setzt ferner gewisse moralische Eigenschaften voraus, kann auch wegen moralischer Mängel oder wegen schwerer Verletzungen der aeronautischen Lenkerpflichten oder wegen erwiesener Unfähigkeit zurückgenommen werden. Im Falle der Entziehung muß ein verwaltungsgerichtliches Verfahren gestattet sein, da ein Gewerbeberecht als ein erworbenes Persönlichkeitsrecht nicht ohne weiteres entrissen werden darf: die Entziehung muß unter gerichtlicher Kontrolle stehen.

Immerhin kann, wenn ein konzessionierter Lenker mit einem nichtkonzessionierten aufsteigt, diesem die Manipulationen überlassen werden, sofern nur der erstere jederzeit eingreifen kann; denn ohne solche Proben ist es unmöglich, daß der Lehrling zum Meister wird.

Daraus ergibt sich von selber, daß die Erlaubnis nur einer physischen Persönlichkeit, nicht etwa einer juristischen Person oder einer Gesellschaft oder Firma erteilt werden kann, und daß sie mit dem Tode erlischt.

¹⁾ Michigan Law Review IX p. 79.

²⁾ Vgl. Das internationale Abkommen für Autos v. 11. Okt. 1909 a. 2; ferner unten S. 41.

Für das internationale Recht kann die Beschränkung der Erlaubnis auf den konzessionierenden Staat nicht aufrecht erhalten werden, ebensowenig als etwa bei den Chauffeurs von Automobilen. Es wird nicht ausbleiben, daß internationale Vereinbarungen getroffen werden, wonach die Erlaubnis des einen Staates auch für den anderen gilt¹⁾. Nur ausnahmsweise und aus besonders wichtigen Gründen wird man die Erlaubnis eines Staates, welcher keine Garantie bietet, im Auslande als unwirksam erklären; dann ist der Lenker, der, abgesehen vom Fall der höheren Gewalt, in fremde Staaten kommt, dort so zu behandeln wie einer, der überhaupt keinen Fahrtausweis hat.

2. Die Übungsplätze der Luftfahrt und die Auf- und Absteigehallen gehören zu den Einrichtungen, welche wegen der Störung der Nachbarschaft einer polizeilichen Genehmigung bedürfen; daher müssen die Bestimmungen der Gewerbeordnung § 16 ff. hierauf ausgedehnt werden: die Nachbarschaft ist zum Widerspruch aufzufordern, und die Entscheidung über Widersprüche findet nötigenfalls in dem verwaltungsgerichtlichen Verfahren statt. Übrigens hat diese polizeiliche Genehmigung auch eine bürgerliche Bedeutung: das negatorische Recht auf Wegschaffung besteht jetzt nicht mehr, auch wenn eine Belästigung der Nachbarschaft eintritt, welche der Nachbar Eigentümer nicht zu dulden hätte: der Bestand der Anlage kann jetzt nicht mehr durch bürgerliche Klage gefährdet werden; dagegen bleiben dem Nachbarn alle Entschädigungsansprüche wegen übermäßiger Belästigung gewahrt, § 26 Gew.-O.²⁾

Die Polizei wirkt hier als Beschützerin des Nachbarrechts, aber auch als Beschützerin der einmal geschaffenen Einrichtungen.

3. Das Luftfahrzeug muß solide eingerichtet sein und den nötigen Bedarf mit sich führen, daher kann die Polizei:

a) jedes Fahrzeug vor seiner Ingebrauchsetzung einer Prüfung unterwerfen und die Prüfung von Zeit zu Zeit wiederholen;

b) ein Fahrzeug vor seinem Flug auf Haltbarkeit und auf das Vorhandensein der nötigen Zutaten und Apparate prüfen³⁾;

4. Sollten Luftfahrzeuge zum regelmäßigen öffentlichen Ortsverkehr verwendet werden, was in wenigen Jahren der Fall sein wird, dann bezieht sich § 76 der Gewerbeordnung⁴⁾ auch hierauf, und es können Taxen bestimmt werden.

Eine solche Taxbestimmung hat auch zivilrechtliche Bedeutung, § 612 BGB.

Der Verkehrspolizei gehören an:

1. Vorsichtsmaßregeln, welche dahin abzielen, daß besonders gefährliche Betätigungen vermieden werden: so insbesondere das Verbot des Herabwerfens von festen oder schmutzigen Dingen, was leicht zu Schäden oder gar Unglücksfällen führen kann. Ein solches gefährliches Tun ist mit polizeilicher Strafe zu bedrohen. Nur im Fall des Notstandes wird das Gebot gebrochen; doch muß

¹⁾ Vgl. Das Internat. Autoabkommen 1909 a. 1 und 3.

²⁾ Inwieweit neben der Gewerbeordnung die landesgesetzliche Polizeiordnung gilt (sie gilt, soweit ihre Bestimmung gewerbliche und nichtgewerbliche Einrichtungen zugleich betrifft), darüber vgl. Preuß. Ober-Verw.-G. 24. 4. 1902; 18. 3. 1909 Entsch. 41 S. 322; 54 S. 319; ferner 1. 6. 1910 und 11. 6. 1910 Goldt. Archiv 59 S. 162, 166.

³⁾ Über Führung eines Schiffsjournals vgl. unten S. 42.

⁴⁾ Wagen, Pferde, Sänften, Gondeln und andere Transportmittel.

man auch hier eine den Umständen angemessene Vorsicht beobachten, sich vor allem tunlich vergewissern, ob ein Mensch oder eine Sache unten auf der Erde verletzt werden könne. Das Herabschütten von Sand ist unentbehrlich, aber auch unbedenklich, mindestens von einiger Höhe aus.

2. Dahin gehören die polizeilichen Sicherungsmittel, um Zusammenstöße zu vermeiden: so die Bestimmung, wie die Luftschiffe und Flugmaschinen einander ausweichen sollen, ob zur Rechten oder zur Linken, oder ob hier ein Unterschied bestehen soll zwischen Luftfahrzeugen verschiedener Art, namentlich leichteren oder schwereren Kalibers, oder je nach der Winrichtung u. a. Sodann können Zeichen vorgeschrieben werden, Lautzeichen wie optische Signale. Diese werden namentlich im Nebel von der größten Bedeutung sein. Auch hier sind nicht besondere Rechtsgrundsätze aufzustellen, sondern Rechtsgrundsätze, die sich anderwärts (bei der Seeschifffahrt) bewährt haben, der besonderen Art der Luftfahrt technisch anzupassen. Vgl. unten S. 44, 45.

3. Dahin gehört die Bestimmung, daß gewisse Örtlichkeiten gar nicht, andere nur mit besonderer Vorsicht „überfahren“ werden dürfen. Von Festungswerken, Fabriken und Ähnlichem wurde bereits gesprochen. Sodann darf aber auch bestimmt werden, daß z. B. beim Passieren von Städten oder von Orten, wo Festlichkeiten, Volksansammlungen stattfinden, das Fahrzeug sich in einer bestimmten Höhe bewegen muß, damit keine Gefahren entstehen.¹⁾

Übrigens können polizeiliche Anordnungen nicht nur zu Lasten, sondern auch zum Vorteil der Luftfahrzeuge erfolgen: auch anderen können Vorschriften im Interesse der Luftfahrt auferlegt werden; denn wer in ausgesprochener Weise in den Verkehr tritt, muß sich als Teil des Ganzen fühlen und dazu beitragen, daß der Gesamtverkehr die nötigen Sicherungen gewinnt.

Daher ist es gerechtfertigt zu verlangen, daß Gebäude von gewisser Höhe und Gebäude, welche aus anderen Gründen der Luftfahrt gefährlich werden können, namentlich auch elektrische Leitungen in einer solchen Weise kundbar gemacht werden, daß die Luftschiffe und Flugmaschinen gewarnt sind und diese Gefahren vermeiden können.

Die Einfuhr- und Zollordnungen rufen bedeutende Fragen des Luftfahrtsrechtes wach. Das Transitieren von Waren in Luftfahrzeugen wird für den darunterliegenden Staat nicht weiter in Betracht kommen, sehr wichtig aber wird die Sache für den Staat, in dessen Gebiet das Fahrzeug niedergeht. Hier können Bestimmungen ergehen, daß sofort die Zollbehörde verständigt und die Zolluntersuchung eingeleitet werden muß; die ganze Sachlage läßt sich aber dadurch erleichtern, daß der Führer ein Attest der Abfahrtstation mit sich führt und es der Zollbehörde vorweist, wodurch möglicherweise eine lästige und zeitraubende Untersuchung vermieden wird. Beabsichtigt man, die Waren wieder mitzunehmen, so kann leicht durch einstweilige Kautionsstellung geholfen werden. Geworfene Waren sind zollpflichtig, wenn sie noch brauchbar bleiben. Sind, wie in Frankreich, die Fahrzeuge selbst Gegenstand der Besteuerung, so können für Ein- und Austritt dieselben Sicherungsmaßregeln getroffen werden wie bei den Autos, um das lästige Hinterlegen der Sicherheit zu vermeiden.²⁾

¹⁾ Verbot am Sonntag zu fahren? Sheriff von Nassau County, Loc. aer. II p. 271.

²⁾ Für Deutschland vgl. Zolltarif Ges. 25. 12. 1892, und im Ganzen Würt h, S. 67 f. 52 f. 75.

III. Internationales Recht. Strafrecht.

§ 12.

Der notwendige Zusammenschluß der organisierten Mannschaft zur Erreichung der Zwecke des Luftschiffes führt eine Steigerung der Pflicht herbei, die ganz ähnlich wie bei Seeschiffen zu behandeln ist. Wie bei Seeschiffen der Matrose, wenn er fernbleibt, in Strafe kommt, sodaß hier der Vertragsbruch ausnahmsweise bestraft wird, wie ferner der Ungehorsam an Bord und namentlich die Meuterei zu den Delikten des Seemannsrechtes gehört, so muß dies auch bei Luftschiffen gelten: wenn also beispielsweise die Mannschaft erklärt, den Befehlen des Lenkers nicht zu folgen oder wenn sie den Lenker zwingen will, nach ihrem Willen in der einen oder anderen Weise zu verfahren¹⁾. Hierbei kommt noch die ungeheure Gefahr in Betracht, welche das Luftschiff, wenn der Flug einmal begonnen hat, läuft, falls nicht alles pünktlich den Befehlen gehorcht.

Auch die Möglichkeit muß geboten sein, eine gefährliche Persönlichkeit einstweilen festzuhalten und an jeder Einwirkung zu hindern, weil sonst möglicherweise Leib und Leben aller gefährdet wird. Auch die Frage, welche bei den Seeschiffen bereits aufgeworfen wurde, ob, wenn durch Funkentelegramm die Verhaftung eines Passagiers verlangt wird, der Leiter des Luftschiffes in der einen oder anderen Weise verpflichtet ist, dem zu entsprechen, kommt hier zur Geltung,

Überall handelt es sich darum, einmal die furchtbare Steigerung der Gefahr in Betracht zu ziehen, welche eintritt, wenn das Luftschiff schwebt, und andererseits auch zu berücksichtigen, wie leicht jemand auf diesem Wege der verfolgenden Gerechtigkeit entrinnen könnte.

§ 13.

Soweit das Fahrzeug ein Teil des Landes ist, dessen Flagge es führt, gilt alles, was auf dem Fahrzeug geschieht, als in dem Lande seiner Flagge erfolgt. Dieser Satz ist gesund und hat sich bewährt. Er ist bei größeren Luftschiffen ohne weiteres anwendbar; nur bei Flugmaschinen kann er zweifelhaft sein, weil hier, bei der Beschränkung der Personenzahl, ein Innenleben, ein innerer Verkehr in geringem Maße stattfinden wird, wie denn auch für kleine Seeschiffe, Boote und dgl. der Grundsatz nicht gilt. Da müßte man annehmen, daß, was in der Flugmaschine geschieht, jeweils in dem Staate erfolgt, über welchem die Flugmaschine schwebt. Es wäre dasselbe, wie wenn in einem Auto oder in einem Eisenbahnzug irgendein Vertrag abgeschlossen oder ein Verbrechen begangen würde. Indes müßte diese Behandlungsweise bei Flugmaschinen auf unübersteigliche Schwierigkeiten stoßen; denn es ist sehr häufig ganz unmöglich festzustellen, über welchem Gebiete man sich befindet, wenn der Flieger in Nacht und Nebel dahinschweift. Bei Fortbewegung auf der Erde bilden die Straßen,

¹⁾ Vgl. Seemanns-O. § 93 ff., 101 ff. Auch wenn außerhalb des Reichsgebietes, § 121.

die Städte, die Dörfer, die man passiert, einen Anhaltspunkt, so daß man nie ganz die Richtung verliert; auch besteht regelmäßig die Gelegenheit, sich über die Örtlichkeit zu erkundigen: wer gewohnt ist, Auto zu fahren, wird sich auch in Nacht und Nebel zurechtfinden. Ganz anders verhält es sich in der Luft, wo oftmals alle Mittel der Ortsfeststellung fehlen und man sich einfach dem Elemente überlassen muß. Wenn hier ein Vertrag abgeschlossen oder ein Verbrechen begangen wird, so könnte die ungemein wichtige Frage des Vertrages- oder Deliktsortes gar nicht beantwortet werden, und die Unmöglichkeit wäre nicht etwa in ganz ausnahmsweisen Umständen begründet, sondern durch die Natur des Fahrzeuges von selber gegeben.

Aus diesem Grunde glaube ich, daß der Satz von der entscheidenden Landeszugehörigkeit auch bei Flugmaschinen anzunehmen ist, daß auch diese einen Teil des Inlandsgebietes bilden, so daß, was immer in ihrem Bereiche geschieht, dem Gebiet des Flaggenstaates angehört. Das wäre nicht nur für Rechtsgeschäfte von Bedeutung, sondern auch für andere Umstände, die in das Recht eingreifen, so für den Tod eines Insassen; während eine Geburt auf dem Aeroplan kaum stattfinden wird: sollte sie jemals erfolgen, denn das Leben ist vielgestaltig, so müßten die gleichen Grundsätze in Anwendung kommen.

Dies gilt für das Innenleben, es gilt auch für die Kollision der Luftschiffe und Flieger; hier steht Flagge gegen Flagge, und jede wirkt als Teil ihres Staates. Für die Berührung mit der Erde aber müssen andere Gesetze gelten: wird durch ein Fahrzeug ein Gebäude beschädigt, ein Mensch verletzt, so ist der Ort des Zusammenstreffens der Deliktsort, und dessen Staat ist für die Rechtsfolgen maßgebend¹⁾.

So gilt auch, wie bei Seeschiffen, der Grundsatz, daß eine Erfindungsausübung im Internum des Fahrzeuges nach den eigenen Patentgesetzen des Luftfahrstaates zu beurteilen ist, so daß der Staat, über welchem das Schiff schwebt, nichts hineinzureden hat. Anders wenn die Patentausübung mit dem Gebiete, über welches das Fahrzeug streicht, in Beziehung tritt durch Herablassen der Patentware, durch Einwirkung auf Gebäude oder Ackergelände; in diesem Falle wird in das Patentwesen des darunter liegenden Staates eingegriffen, und dieses ist maßgebend²⁾.

Der Ort, wo das Fahrzeug eingetragen wurde, ist als der Sitz (Heimatsort) zu betrachten, und hier sind die das Eigentum und das dingliche Recht betreffenden Klagen zu erheben, vgl. § 488 HGB. Ebenso die aus der Betätigung des Fahrzeuges hervorgehenden Entschädigungsklagen. Ferner wäre dieser Ort als Ort des Vermögensbesitzes zu betrachten, sofern man den bedenklichen Gerichtsstand des Vermögensbesitzes überhaupt künftig beibehalten will.

Aber auch das *forum delicti* ist für den Zivilprozeß nicht zu entbehren; wenn durch Luftschiff oder Flugmaschine eine Beschädigung auf dem Lande verursacht worden ist, so muß am Orte der Beschädigung eine Klage gegen den Verletzer zulässig sein; denn es ist unmöglich, den Beschädigten an das Gericht des vielleicht tausend Kilometer entfernten Heimatlandes zu verweisen.

Anders ist es bei den Verletzungen des einen Fahrzeuges durch das andere;

¹⁾ Bei Fesselballons ist, solange sie befestigt sind, die Verbindung mit der Erde eine so intime, daß man sie als dem Lande angehörig zu betrachten hat.

²⁾ Handbuch des Patentrechtes S. 189, 487.

denn wer Luftfahrzeuge führt, der wird schon die nötigen internationalen Beziehungen haben, um bei dem Heimatsorte des anderen Fahrzeugs klagen zu können.

Für die strafrechtliche Verfolgung ist, sofern es sich um Delikte im Internum des Fahrzeugs handelt, nach Rechtsähnlichkeit des § 10 der Strafprozeßordnung der Heimatsort maßgebend oder der nächste Ort des Heimatlandes, in dem das Luftschiff absteigt. Und auch Delikte, welche von einem Ballon gegen den anderen verübt worden sind, sind in gleicher Weise zu verfolgen¹⁾.

Für diejenigen Delikte aber, durch welche das Land und die auf dem Lande befindlichen Personen verletzt oder sonstige dort verörtliche Rechtsgüter betroffen werden, ist auch im Strafprozeß das *forum delicti* gegeben; man denke z. B. an eine Tötung vom Luftfahrzeug aus, an Beleidigung, Auswerfen von Schriftstücken, aufreizenden Preßartikeln, an Religionslästerung usw.

Wie die Luftfahrt Grund zu strafrechtlicher Verantwortung bieten kann, so ist auch ein besonderer strafrechtlicher Schutz der Luftschiffe und Flugmaschinen angezeigt: bei der großen Gefährlichkeit solches Thuns ist eine schwerere Ahndung auf die Beschädigung eines Luftfahrzeugs zu legen; ebenso eine strenge polizeiliche Pön auf alle Handlungen, welche ein solches gefährden. Unter allen Umständen muß, wenn ein Sonderschutz für sehr wichtige Dinge bestimmt wird, wie es in § 305 StGB. geschah, das Luftfahrzeug unter diese eingereiht werden.

IV. Staats- und Völkerrecht.

§ 14.

Die privatrechtlichen Grundsätze vom Luftraum müssen auch für das Staatsrecht gelten: auch die staatliche Herrschaft erstreckt sich über den Luftraum, und von einem Grundsätze, daß dieser überhaupt oder von bestimmter Höhe aus frei wäre, wie der Ozean, kann keine Rede sein. Ich habe schon seinerzeit darauf hingewiesen, wie trügerisch eine derartige Gleichstellung ist²⁾; denn der Luftraum in jeder Höhe ist ein natürliches Beeinflussungsgebiet für Grund und Boden: auch von höchster Höhe können Gegenstände herunterfallen und schwere Beschädigungen anrichten; und da man nie vollkommen Herr der Höhe ist, sondern herauf und herab schweben muß, so können etwaige Kämpfe im Luftraum das darunterliegende Gebiet im höchsten Grade gefährden und den neutralen Staat plötzlich in die Schrecken des Krieges verwickeln.

Ganz anders ist es bei dem Ozean, bei dem, wie ich bereits früher bemerkte³⁾, auch noch die Besonderheit gilt, daß er nur künstlich einem der Uferstaaten zugeschrieben werden könnte, während die Zugehörigkeit des Luftraumes zu dem darunterliegenden Staat sich durch das Gesetz der Schwere von selber ergibt. Das wird auch jetzt mehr und mehr anerkannt, und auch diejenigen, welche den Satz aufstellen: *l'air est libre*, machen so viele Ausnahmen und geben namentlich im Kriege den Staaten so viele Rechte der Einwirkung, daß von einem staatenlosen

¹⁾ Analogon der Seemannsämter? § 122 f. Seemanns-O.

²⁾ Zeitschr. f. Völkerrecht IV S. 589 f.

³⁾ Ebenda IV S. 589.

Luftmeergebiete nicht mehr die Rede sein kann. Dagegen muß man allerdings ebenso wie beim Eigentum auch hier den Satz aufstellen, daß innerhalb bestimmter Schranken die Luftfahrzeuge passieren dürfen, denn die Innehaltung der Landesgrenzen ist selbst bei den lenkbaren Fahrzeugen oft unmöglich, und jedenfalls lassen sie sich nicht festhalten, wenn man die Luftfahrt zu einem Mittel der freien und schnellen Personenbeförderung ausbilden will. Auch läßt sich nicht etwa wie bei dem Autoverkehr eine Einrichtung in der Art gestalten, daß die Luftfahrzeuge bei dem Übertritt in fremdes Staatsgebiet sich zu melden und die freie Durchfahrt zu erwirken hätten; denn Grenzstationen in der Luft lassen sich schwer denken, noch schwerer ausführen. Man muß daher dem Fahrzeuge die Durchfahrt auf dem fremden Gebiet gestatten, allerdings unter der Bedingung, daß es sich den polizeilichen Vorschriften des Staates fügt, und dies gilt natürlich insbesondere von der Landung auf fremdem Gelände.

Am meisten Ähnlichkeit hat dieses Durchfahrtsrecht mit dem Rechte der Küstenschifffahrt, wo ja auch fremden Schiffe die zum Staatsgebiete gehörigen Küstengewässer unter Vorbehalt der Beobachtung der polizeilichen Vorschriften befahren können; nur darf auch diese Analogie nicht überspannt werden.

Eine Ausnahme aber muß für die freie Durchfahrt gelten: Staatsfahrzeuge und insbesondere Militärfahrzeuge dürfen nur mit staatlicher Genehmigung die Luftsphäre passieren, und auch für Fahrzeuge zum Transport von Waffen oder Explosivstoffen kann eine durchgreifende Ausnahme gemacht werden.

Vorbehaltlich dieser durch das internationale Kulturinteresse uns allen aufgedrängten Ordnung unterliegt der Luftraum der vollen Gesetzgebung des Staates, über dem er gelagert ist. Der Staat kann nicht nur polizeiliche Gesetze geben, er kann auch das Recht, das im Luftraum gelten soll, bestimmen, im allgemeinen oder durch Sondergesetz. Er kann amtliche Monopole schaffen, und seine Monopole wie z. B. das Telegraphenmonopol bestehen auch für den Luftraum. Dies gilt namentlich für die Funktelegraphie, auf welche unser Gesetz vom 7. März 1908 das Telegraphenmonopol ausgedehnt hat. Der Gebrauch von Funktelegraphenapparaten auf Luftschiffen über uns ist daher nur mit Genehmigung des Deutschen Reiches statthaft. Die Bestimmungen des § 3 a und 3 b dieses Gesetzes, welche die Genehmigung des Reichs für Fahrzeuge vorsehen, sind analog anzuwenden. Vgl. VO. 12. Dezember 1909 (Reichsgesetzblatt S. 977). Das Luftgebiet über dem Staate ist ferner ein Zollraum, vorbehaltlich des freien Transites. Auch die Freiheit des Photographierens kann beschränkt werden.

§ 15.

Ein Bundesstaat ist Bundesstaat auch bezüglich des Luftraumes, ebenso wie die Einzelstaaten ihr Einzelstaatenrecht auch in bezug auf ihren Luftraum haben. Die Regelung des Luftverkehrs kann hiernach sowohl den Einzelstaaten als auch dem Bundesstaate überlassen werden; es ist Sache der jeweiligen Verfassung zu bestimmen, wie weit die Hoheitsrechte der einzelnen Staaten sich dem Gesamtstaate fügen müssen. Vorzuziehen ist natürlich, daß das Luftfahrtrecht ebenso wie das Automobilrecht durch den Bundesstaat geregelt wird, so daß für den größeren Kreis

eine gemeinsame Ordnung gilt. Insbesondere wird auch von seiten des Bundes die Flagge gegeben und wird von ihm bestimmt werden müssen, unter welchen Umständen das Flaggenrecht erworben und verloren wird.

Im übrigen müssen die grundlegenden Verfassungsbestimmungen auch den Luftverkehr beherrschen. Wie die Einzelstaaten keinen Krieg führen dürfen, so auch keinen Luftkrieg, weder unter sich noch mit Dritten; und wenn der Bund (das Reich) das Privat-, Prozeß-, Strafrecht ordnet, so muß diese Ordnung sich auch auf Dinge beziehen, welche im Luftraum vor sich gehen, der über einem der Einzelstaaten schwebt. Und schon läßt sich der Fall denken, daß das Reichsvereinsgesetz auf die Zusammenkunft im Luftschiffe Anwendung finden könnte!!

Neutralisierte Staaten sind auch in bezug auf die Luftsphäre neutralisiert. Wenn sie also keine Angriffskriege führen dürfen, so dürfen sie dies auch nicht in der Luftsphäre tun. Und dürfen sie nicht angegriffen werden, so darf auch ihre Luftsphäre nicht zum Gegenstand eines feindlichen Angriffes werden. Die Neutralitätsgarantie der Staaten bezieht sich also auch auf ihren Luftraum, und das Verbot der Angriffskriege erstreckt sich auf den Luftraum überhaupt.

Staatenbünde erstrecken ihre Staatenbundschaft auch in den Luftraum, hinein, z. B. Österreich und Ungarn; dies gilt, was die militärischen Operationen betrifft, es kann sich auch auf gemeinsame gewerbliche Regelungen beziehen u. a.

§ 16.

Im Kriege gibt es daher auch für Luftfahrzeuge eine Sphäre des Kriegsschauplatzes und ein neutrales Gebiet. Kriegsschauplatz kann das Luftgebiet über den kriegführenden Staaten sein, ebenso das Luftgebiet über der freien See. Das Luftgebiet über neutralen Staaten ist neutral.

Das von einem kriegführenden Teil okkupierte Land, welches natürlich gewöhnlich Land des Gegners sein wird, mitunter aber, wie bei dem russisch-japanischen Kriege, auch ein fremdes Land sein kann, ist ein unter der Herrschaft des okkupierenden Staates stehendes Kriegsland, und es finden die Bestimmungen der Gebietsokkupation auch auf das entsprechende Luftgebiet Anwendung.

Der Dienst der Luftschiffe und Flugmaschinen im Kriege kann

1. Aufklärungsdienst sein; dieser wird stets eine große Rolle spielen, oder
2. die Luftfahrzeuge werden dazu dienen, die Verbindung zwischen einzelnen Teilen des Heeres herzustellen und Nachrichten vom einen zum anderen gelangen zu lassen.

3. sie können die Möglichkeit verschaffen, aus einem besetzten oder belagerten Gelände fortzukommen oder in ein solches Nachrichten, Personen, Lebensmittel gelangen zu lassen.

4. sie können als Funktionsmittel des Krieges dienen, um von ihnen aus Projektile herabzuschleudern.

Im Sinne von 1, 2 und 3 spielten die Ballons zuerst bei der Belagerung von Paris eine Rolle: es flogen damals 64 über die Stellung der Belagerer hinüber und 5 davon wurden festgehalten. Bismarck stellte die Ansicht auf, daß für ihre

Mannschaft die Spionagestrafe angezeigt sei, und man hat auch die Insassen mehrerer Ballons zum Tode verurteilt, die Strafe aber nicht vollstreckt; denn auch den unbedingten Anhängern Bismarcks mußten gelinde Zweifel aufsteigen. Es ist selbstverständlich, daß hier von einer Spionage keine Rede sein kann; denn das wesentliche Merkmal der Spionage ist das heimliche, versteckte, und der Spion ist deswegen so gefährlich, weil er eine andere Maske annimmt und infolgedessen jeden ahnungslosen Verkehr im Kriege verhindert, da hinter jedem Menschen ein Spion stecken könnte. Die Spionage ist ein völkerrechtliches Verbrechen, während die Auskundschaft ebenso eine berechtigte kriegerische Tätigkeit ist wie das Abschließen der Geschütze. Dies ist auch in der Haager Konferenz zum Ausdruck gekommen. Allerdings spricht die Haager Landkriegsordnung in § 29 nur von Luftschiffen, deren Insassen Mitteilungen überbringen oder die Verbindung zwischen den Truppen- und Landesteilen aufrecht erhalten sollen; allein die Bestimmung ist nur erläuternd, nicht abschließend; natürlich gehört auch der Fall oben unter 3 hierher. Von einer Behandlung der Insassen als Spione könnte höchstens dann die Rede sein, wenn das Luftfahrzeug sich unter irgend einem falschen Vorwande einschleiche, sich etwa als Privatluftfahrzeug ausgäbe und seinen militärischen Charakter verdeckte.

Man hat vielfach angenommen, daß Luftschiffe und Flugmaschinen im Kriege nur für den Aufklärungsdienst praktisch sein würden. Das ist sicher nicht richtig; einmal können die Funktionen 2 und 3 in Betracht kommen, aber auch 4. Denn es ist gewiß leicht möglich, daß sie durch Herabwerfen von Projektilen in die Schlacht eingreifen und beträchtlichen Schaden anrichten, vielleicht auch gar das Schicksal einer Schlacht entscheiden; und bei Belagerungen kann das Werfen von Geschossen höchst verhängnisvoll sein. Es ist bekannt, daß die Haager Konvention das Schleudern von Projektilen aus dem Luftschiffe einstweilen verbietet, aber das Verbot, dem sich übrigens nur wenig Staaten gefügt haben, hat nur so lange Sinn, als die Aviatik noch nicht genügend entwickelt ist, um den Krieg in die Lüfte zu tragen, oder durch Steilgeschütze vom Lande aus die Luftschiffe und Flugmaschinen zu treffen; ist dies möglich, so können die Luftfahrzeuge ebenso wie die Seeschiffe zu regelmäßigen Funktionsmitteln des Krieges werden, und es ist dann kein Grund mehr vorhanden, ihre Kampfesaktion zu beschränken.

Schon sucht man darum diese Entwicklung des Luftkrieges durch Versuche aller Art zu fördern; ich verweise auf ein Ausschreiben des bekannten Pneumatikfabrikanten Michelin an den Vorsitzenden des französischen Aeroklubs.¹⁾

Nous mettons à votre disposition une somme de 150,000 francs à distribuer en quatre prix dits: „Prix de l'Aéro-Club-Michelin.“

Un prix de 50,000 francs serait attribué à l'aviateur qui, d'ici au 15 août 1912 inclus, aura, en une seule envolée, placé dans un cercle de dix mètres de rayon, le plus grand nombre de projectiles.

L'aviateur devra s'élever en emportant cinq projectiles pesant chacun au moins vingt kilos, voler à une altitude supérieure à deux cents mètres et laisser tomber ces projectiles un à un passant à plusieurs reprises au-dessus du but.

Dans le cas où plusieurs aviateurs auraient, le 15 août, au soir, placé le même nombre de projectiles dans le cercle, le vainqueur sera celui dont la distance totalisée des projectiles au centre sera la moindre.

¹⁾ Revue de la locom. aérienne II p. 234. Vgl. auch ib. II p. 271.

Un autre prix de 25,000 francs sera attribué, dans les mêmes conditions, à l'aviateur qui, volant à la hauteur minimum de 1,000 mètres, aura placé ses projectiles dans un rectangle de 100 mètres de longueur sur 10 mètres de largeur. Dans le cas où plusieurs aviateurs auraient placé le même nombre de projectiles, le vainqueur sera celui dont la distance totalisée des points de chute à l'axe sera la moindre.

Nous demanderons d'ailleurs à la commission d'aviation de l'aéro-Club de nous donner son bienveillant concours pour fixer les détails d'exécution et arrêter le règlement.

Les deux autres prix seront attribués le 15 août 1913, Pour cette seconde année, nous nous réservons de faire des modifications au programme, mais sans changer l'idée maîtresse.

Pourront seuls concourir les aviateurs français, civils ou militaires.

Nehmen wir an, daß die Luftfahrzeuge das Recht haben, Geschosse zu werfen, so sind die Bestimmungen der Haager Konvention, daß unverteidigte Orte nur unter Umständen beschossen werden dürfen, — wenn hier militärische Werke, Militäreinrichtungen, Waffenniederlagen und derartige Dinge sich befinden, — auch auf sie anwendbar. Feindliche Kriegsschiffe dürfen natürlich immer beschossen werden. Für die Aufforderung, die betreffenden feindseligen Werke zu entfernen, werden besondere internationale Formen vorgeschrieben werden müssen; auch versteht sich von selber, daß in allen Fällen jede Vorsicht anzuwenden ist, um Denkmäler, wissenschaftliche Sammlungen, Hospitäler usw. zu schonen, während andererseits alle diese Schutzobjekte durch besondere Zeichen zu markieren sind.

Unverteidigt sind Städte oder Dörfer nur dann, wenn sie überhaupt nicht verteidigt werden; wenn aber eine Verteidigung gegen den Angriff zu Land oder zur See stattfindet, so sind sie als verteidigt anzusehen, auch wenn sie nicht die entsprechenden Verteidigungsmittel gegen die Luftfahrzeuge haben; mit anderen Worten, es ist nicht notwendig, daß eine Verteidigung speziell gegen die betreffende Angriffsform gerichtet ist.

§ 17.

Das Recht des Eroberers erstreckt sich auch auf die staatlichen Luftfahrzeuge des Feindes; ihm gehören auch unbemannte Ballons des Feindes an, welche die Bestimmung haben, Nachrichten zu bringen oder Schriftstücke von einem Gelände zum anderen zu befördern.

Was aber das Privateigentum betrifft, so ist der Luftkrieg in der Hauptsache nach den Grundsätzen des Landkrieges zu behandeln. Man hat ihn als eine Art des Seekrieges darzustellen versucht, — sehr zu Unrecht. Wenn im Seekrieg das Beuterecht gegenüber privatem Eigentum noch gilt, so ist dies eben ein Überrest alter Zeiten, welcher eigentlich schon bei der Seeschifffahrt hätte aufgehoben werden sollen. Daß im Falle eines Krieges die Privatluftfahrzeuge des feindlichen Landes angehalten, genommen und konfisziert werden könnten, ist als Regelwidrigkeit vollkommen zu verwerfen, da der Krieg das Privateigentum möglichst unangetastet lassen soll. Daher hat auch der Flaggenwechsel nicht die Bedeutung wie im Seekriege; sollte man anderer Ansicht sein, so müßten die Bestimmungen der Londoner Konferenz über den Flaggenwechsel und die entsprechenden Vermutungen, namentlich die verhängnisvollen 30 Tage berücksichtigt werden. Doch alles dieses darf gar nicht zur Anwendung kommen, sondern nur der § 53 der Landkriegsordnung wonach Fahrzeuge auch privater Art vom feindlichen Staate zwar beschlagnahmt

werden dürfen, aber beim Friedensschluß wieder zurückzugeben sind. Eine solche lediglich fürsorgliche Beschlagnahme ist berechtigt: sie gründet sich darauf, daß die privaten Luftfahrzeuge leicht von der feindlichen Macht in Kriegsluftschiffe umgewandelt oder jedenfalls als Kriegsluftfahrzeuge verwendet werden können, und dies soll durch die Beschlagnahme vermieden werden. Eine solche fürsorgliche Maßregel ist aber vom Beuterecht wohl zu unterscheiden¹⁾).

Die Lehre von der Konterbande hat man in das Kapitel des Seekrieges gestellt: in der Tat ist das Herbeischaffen der Konterbande überhaupt eine Völkerrechtswidrigkeit, welche bei jeder Art von Krieg in Betracht kommt; und wenn hier die Grundsätze des Seekriegsrechts angezogen werden, so geschieht es nur deshalb, weil die allgemeinen Rechtsgedanken sich im Seekriegsrecht entwickelt haben.

Daher muß auch hier der Unterschied zwischen absoluter und relativer Konterbande bestehen: ebenso die Bestimmung, daß gewisse Waren nie Konterbande sind; und was von dem Prinzip der einheitlichen Reise und seiner Beschränkung bestimmt ist, muß auch hier gelten. Nur kann die Norm des a. 36 der Londoner Erklärung keine Anwendung finden, da es für den Luftverkehr ohne Bedeutung ist, ob das Land die See berührt oder nicht.

Im übrigen besteht die bekannte Folge dieser Völkerrechtswidrigkeit darin, daß die Konterbande beschlagnahmt und eingezogen wird, und dazu auch alle anderen Waren des Eigentümers der Konterbande, die sich in demselben Schiffe befinden. Das Luftfahrzeug, welches die Konterbande enthält, ist wegen dieses Deliktes gleichfalls zu konfiszieren, sobald die Konterbande mehr als die Hälfte der Ladung ausmacht, die Führung der Konterbande mithin als seine Hauptfunktion erscheint.

Für das *Droit de visite* und den *convoy* müssen die Grundsätze des Seekrieges angewendet werden; auch die Bestimmung muß gelten, daß die Prisen weggenommen, und einem Prisengerichte zugeführt werden sollen, und es wird nicht ausbleiben, daß auch hier die Idee des internationalen Prisengerichtes Wurzel fasst.

Auch das ausnahmsweise Recht, das Konterbandenschiff (gegen eventuelle Entschädigung) zu zerstören, muß wie im Seekriege gelten.

Wie ein Konterbandeführendes Fahrzeug wird ein neutrales Fahrzeug behandelt, welches eine feindliche Truppenabteilung oder auch nur einzelne eingereihte Personen enthält, sofern seine Reise speziell zu dem Zwecke erfolgt, um die Personen dem Feinde zuzuführen: außerdem ein Fahrzeug, welches speziell den Zweck erstrebt, Nachrichten an den Feind oder von diesem zu befördern, vgl. a. 45 der Londoner Erklärung. Sofern sich aber das neutrale Schiff an den Feindseligkeiten beteiligt, oder ausschließlich zur Beförderung von Truppen oder Nachrichten im Interesse des Feindes bestimmt ist, unterliegt es unbedingt der Einziehung, vgl. a. 46 der Londoner Konvention.

Auch passiv können Luftfahrzeuge für das Recht der Konterbande in Betracht kommen.

Luftschiffe und Flugmaschinen und ihre Bestandteile gehören nach der Londoner Erklärung a. 24, Ziffer 8, zu der relativen Konterbande; sie unterliegen daher der

¹⁾ Eine Zerstörung ist, namentlich wenn es sich um neutrales Gut handelt, nur nach dem *jus angariae* statthaft. Die Bestimmung des fünften Haager Abkommens § 19 über Eisenbahnmateriale eignet sich nicht für Luftfahrzeuge.

Beschlagnahme, wenn sie für den Gebrauch der Streitmacht unmittelbar oder mittelbar bestimmt sind, a 33, wobei die Vermutung des a 34 gilt. Das Prinzip der einheitlichen Reise ist hier ausgeschlossen: sie sind nur dann der Beschlagnahme unterworfen, wenn sie in der direkten Fahrt nach dem feindlichen Gebiet begriffen sind; das gilt sowohl dann, wenn sie zur See befördert werden, als auch dann, wenn die Beförderung auf dem Luftwege erfolgt: geschieht das letztere, so fällt, wie bemerkt, die Ausnahme des a 36 weg, da es für den Luftverkehr bedeutungslos ist, ob ein Land die See berührt oder nicht.

Auch eine Luftschiffblockade ist möglich, indem die kriegführende Macht bestimmt, daß in gewissen Gegenden des feindlichen Geländes private Luftfahrzeuge nicht fahren dürfen, also z. B. über einer Festung, welche dadurch mit Munition oder Lebensmittel versorgt werden könnte. Der Blockadebegriff wird sogar im Luftrecht eine viel größere Bedeutung gewinnen, denn die kriegführende Macht kann bestimmen, daß über dem ganzen Gebiet des Kriegsschauplatzes keine private Luftfahrzeuge sich bewegen dürfen, weder zum Zwecke der Auskundschaftung noch zum Zwecke der Verbindung mit anderen Gebieten¹⁾. Eine solche Isolierung, welche dem Lande die Hilfe von dieser Seite her nimmt, kann es außerordentlich schwächen und ihm die letzte Unterstützung rauben. Natürlich darf auch hier die Blockade keine Papierblockade sein: sie muß durch Aufstellung genügender Militärfahrzeuge gesichert werden, ansonst sie nicht rechtsgültig ist. Der Blockadebruch und alles, was damit zusammenhängt, ist nach dem Grundsatz des Seekriegsrechtes zu behandeln.

Namentlich gilt folgendes: die Freiheit der Briefsendungen muß auch im Luftkrieg gewahrt werden; dies erleidet aber eine Ausnahme für Briefe nach oder von einer blockierten Gegend, und blockiert kann ja hier das ganze feindliche Gelände werden.

§ 18.

Kriegsluftfahrzeuge der feindlichen Staaten dürfen nicht auf das neutrale Gebiet hinüberfahren: das Passierenlassen eines solchen Fahrzeugs wäre ebenso ein Verstoß gegen die Pflicht der Neutralität, wie die Gestattung des Durchganges eines Truppenteiles.

Sollte ein Kriegsluftfahrzeug durch die Macht der Natur in das neutrale Gebiet verstoßen werden und dort landen, so müßten dieselben Grundsätze gelten wie bei dem Übertritt des kriegerischen Heeres im Landkriege, und es wäre Sache des neutralen Staates, die militärischen Insassen nach der Ordnung des Landkrieges in Verhaft zu nehmen; das Fahrzeug wäre bis zu Ende des Krieges zu verwahren: dies gilt auch für unbemannte Ballons.

Das Prinzip von dem Ausschluß der Luftfahrzeuge auf neutralem Gebiete muß dann eine Ausnahme erleiden, wenn die Fahrzeuge sich regelmäßig über See oder über dem Küstengewässer halten und nur zum Zwecke der Proviantierung oder Reparatur das neutrale Gebiet berühren; hier gilt die 24 Stundenfrist, die nur im Falle der Havarie verlängert werden darf; hier gilt die Bestimmung, daß höchstens 3 Fahrzeuge zu gleicher Zeit anwesend sein dürfen, nicht eine ganze Flotte;

¹⁾ Auch nicht, um die erspähten Operationen durch Funkentelegraphie der Presse mitzuteilen. Vgl. Higgins, Z. f. Völkerrecht VI S. 19 f.

hier gilt die weitere Bestimmung, daß, wenn Luftfahrzeuge beider kriegführenden Staaten landen, sie nicht zu gleicher Zeit wieder auffliegen dürfen, sondern nur mit einem Zwischenraum von 24 Stunden. Auch was die Aufnahme von Lebensmitteln betrifft, muß das gleiche gelten: statt des Feuerungsmaterial kommt natürlich das Material an Benzin oder anderen Kraftstoffen in Betracht. Sollten die Luftfahrzeuge trotz Aufforderung den Neutralitätsbestimmungen nicht entsprechen, so können sie von der neutralen Macht so sehr havariert werden, daß ein weiteres Auslaufen für kriegerische Zwecke nicht möglich ist.

Wie die neutralen Gebiete, so dürfen auch die neutralisierten Gebiete, wie z. B. der Suezkanal, in ihrer Luftsphäre nicht zu kriegerischen Unternehmungen verwendet werden; daher können die Fahrzeuge des Luftkrieges vorübergehend passieren, aber unter der Bedingung, daß hier keine kriegerischen Operationen erfolgen und die Örtlichkeit nicht zum Stützpunkt für kriegerische Betätigungen werden darf: der ruhige Handelsverkehr soll nicht gestört werden. Vgl. die Suezkanalakte a 4.

Ein Privatluftfahrzeug kann in ein Kriegsluftfahrzeug umgewandelt werden; die Umwandlung kann natürlich nicht über einem neutralen Staat, wohl aber über dem Gebiete des eigenen oder des occupierten Staates oder über dem Gebiete der freien Gewässer stattfinden. Im übrigen können die Bestimmungen des Seerechtes angezogen werden: das Schiff muß den direkten Befehlen der kriegführenden Macht unterworfen werden, die Abzeichen des Kriegsschiffes an sich tragen und einen vom Staat ernannten Kommandanten haben, während die Mannschaft der kriegerischen Disziplin untersteht.

Da es den Neutralitätsgesetzen widerspricht, zu gestatten, daß eine kriegführende Macht funkentelegraphische Anstalten auf neutralem Gebiete errichtet, so kann eine funkentelegraphische Einrichtung für Kriegszwecke auch nicht auf einem Luftfahrzeuge geduldet werden, das über neutralem Gebiete schwebt.

Dagegen ist es keine Überschreitung der Neutralitätsgesetze, wenn solche Anstalten auf dem feindlichen Gebiete in der Nähe der Grenze getroffen werden und von da aus die Funkentelegraphie über das neutrale Land hindurchgeht; denn die Benützung des Luftraumes für Funkentelegraphie ist keine Verletzung der Neutralität. Sollte aber ein neutraler Staat einer kriegführenden Macht dies verbieten und etwaige Gegenmaßregeln ergreifen, so dürfte er nicht das gleiche der anderen feindlichen Macht zugestehen, da sonst der Grundsatz der Gleichbehandlung beider Teile verletzt würde.

Zu der Neutralitätspflicht gehört es auch, daß vom neutralen Staate aus keine Ausspähungen stattfinden; der neutrale Staat muß daher sein Land nicht nur an der Grenzlinie, sondern auch in entsprechender Entfernung von der Grenz- von Spähern frei halten.

Ist der neutrale Staat nicht verpflichtet, zu verhindern, daß von Privaten Kriegsmaterial an feindliche Staaten abgegeben wird, so verhält es sich anders, wenn eine derartige Unterstützung in größerem Umfange stattfindet, vor allem wenn Schiffe bewaffnet oder ausgerüstet werden, welche einer feindlichen Macht dienen sollen, oder wenn ein bereits fertiges Schiff von einem neutralen Hafen zur Unterstützung einer feindlichen Macht ausläuft. Die Washingtoner Übereinkunft, welche in dem 13. Haager Abkommen a. 8 sanktioniert worden

ist, muß sicher auch auf Luftfahrzeug bezogen werden; denn auch hier handelt es sich nicht etwa bloß um Waffen, Munition oder ähnliche Dinge, sondern um ein strategisches Mittel, durch welches menschliche Streitkräfte nach bestimmten Gegenden des Kriegsschauplatzes befördert werden, was dem Kriege eine ganz neue Wendung geben kann. Das haben die Luftschiffe und Flugmaschinen mit den Seeschiffen gemein: man denke sich den Fall, daß eine ganze Schar von Fliegern von einem neutralen Gebiete auffliegt und einer feindlichen Macht dienstbar wird.

§ 19.

Die Grundsätze der Genfer Konvention müssen analog in Anwendung gebracht werden. Ob es hier Sanitätsfahrzeuge geben wird, steht dahin; doch ist es wahrscheinlich. In solchem Falle müssen sie natürlich eine besondere weit sichtbare Bezeichnung haben, und muß ihre Wirksamkeit näher geordnet werden; es wird dann neben militärischen auch private Sanitätsfahrzeuge geben, unter ähnlichen Bedingungen wie im Seekrieg, die ebenfalls der feindseligen Behandlung entzogen sind; auch sind die Grundsätze des Seekrieges über Zulassung privater Sanitätsschiffe anzuwenden. Wird ein Luftschiff mit etwaigem Sanitätspersonal gefangen, sei es in der Luft oder beim Absteigen, so müssen die Grundsätze der Genfer Konvention gelten: das Sanitätspersonal hat sich noch so lange aufzuhalten, als es für die Pflege der Verwundeten notwendig ist (gegen entsprechende Vergütung), muß aber dann (mitsamt seinem Privateigentum) frei nach Hause entlassen werden.

Daß auch sonstige Grundregeln für die Humanisierung des Krieges z. B. das Verbot der Anwendung vergifteter Waffen, des Gebrauchs von Dummdumgeschossen, des Mißbrauchs der Parlamentärflagge usw. gelten müssen, versteht sich von selbst.

Anhang.

I. Verordnung des preußischen Ministers des Innern und der öffentlichen Arbeiten.¹⁾

Über die Maßnahmen, welche staatlicherseits gegenüber den Luftschiffahrten und dem Flugwesen getroffen werden müssen, schweben zurzeit internationale Verhandlungen, an denen auch Deutschland beteiligt ist. Nach ihrem Abschluß, der zu Ende dieses Jahres zu erwarten ist, sollen zur Erfüllung der internationalen Vereinbarungen und zur Erzielung der auf diesem Gebiete nach Lage der Verhältnisse gebotenen Einheitlichkeit der Bestimmungen vom Reiche gesetzgeberische Maßnahmen eingeleitet werden. Die in letzter Zeit sich häufenden Unglücksfälle bei Flugversuchen und Luftschiffahrten, sowie die Zunahme der Flugwettbewerbe und solcher Luftschiffahrten, bei denen Fahrgäste mitgenommen werden, lassen es aber nicht tunlich erscheinen, die reichsgesetzliche Regelung abzuwarten. Vielmehr werden im Interesse der öffentlichen Sicherheit schon jetzt gewisse Maßnahmen im Wege der Einwirkung auf die Vereine sowie des Erlasses polizeilicher Anordnungen vorzusehen sein. Hierbei kann freilich nicht unbeachtet bleiben, daß es sich um eine Materie handelt, die einerseits wegen ihrer Neuheit und des Mangels an ausreichenden Erfahrungen besondere Schwierigkeiten bietet, andererseits auch zu möglichster Rücksichtnahme und Schonung der noch im Anfange stehenden Entwicklung nötig, um weiteren Fortschritten auf dem neugewonnenen Gebiete keine Hemmungen zu bereiten. Diese Erwägungen werden auch bei der Anwendung und Durchführung der nachstehenden Anordnungen stets im Auge behalten werden müssen. Wie diese Anregungen nach vorherigen Besprechungen und im Einvernehmen mit den Vertretern der die Interessen des Flugwesens und der Luftschiffahrt wahrnehmenden Vereine zustande gekommen sind, werden die Behörden auch bei ihrer Handhabung auf Föhlung mit den Vereinsorganen Bedacht zu nehmen haben.

Nach Lage der Verhältnisse wird es sich empfehlen, von der Zusammenfassung der Anordnungen in eine mit Strafvorschriften ausgestattete Polizeiverordnung im allgemeinen abzusehen, und soweit nicht die Art der Anordnung den Erlaß einer Verordnung erfordert, zu versuchen, ob nicht das Interesse der allgemeinen Sicherheit in ausreichender Weise durch polizeiliche Verfügungen an die in Betracht kommenden Vereine und an Einzelpersonen nach folgenden Grundsätzen gewahrt werden kann.

A. Flugwesen.

1. Flugversuche der nicht mit einem Führer-Prüfungszeugnis ausgestatteten Personen sind außer an den für diese Zwecke hergerichteten und eingefriedigten Flugplätzen da zuzulassen, wo mit Rücksicht auf die Lage zu den Verkehrsstraßen und dem Umfang des Verkehrs von

¹⁾ Es scheint früher die Absicht bestanden zu haben, das Überfliegen von Städten durch die Flugmaschinen ganz zu untersagen. Mit Recht erklärt die Preußische Ministerialordnung, daß man davon Abstand genommen habe und nur die Aviatiker vor den Gefahren warnt, die ein solcher Flug herbeiführt. Verboten aber ist der Flug über Fabriken mit explosiven Stoffen, Petroleumlagern usw., wodurch eine Explosion herbeigeführt werden könnte, verboten auch der Flug, welcher mit Drahtleitungen von starker elektrischer Spannung in Kollision käme.

einer derartigen, nötigenfalls auf bestimmte Tagesstunden begrenzten oder durch gewisse Schutzmaßnahmen eingeschränkten Benutzung eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit nicht zu befürchten ist.

2. Flieger, die ein Prüfungszeugnis besitzen, werden im allgemeinen außerhalb der bewohnten Ortschaften überall mit ihrem Flugzeug aufsteigen dürfen. Wo aber die besonderen Verhältnisse es erforderlich machen, haben die Polizeibehörden auch über die Grenzen der Ortschaften hinaus einen Bezirk zu bestimmen, in welchem das Aufsteigen ohne Erlaubnis verboten ist.

3. Von einem allgemeinen Verbot des Überfliegens bewohnter Ortschaften ist abzusehen. Die Flieger sind aber vor dem Überfliegen größerer Ortschaften unter Hinweis auf die hierbei drohenden Gefahren zu warnen. Auch ist ihnen das Überfliegen von Sprengstoffabriken, Petroleumlagern, Gasanstalten und ähnlichen feuergefährlichen Anlagen, sowie von Grundstücken, die von elektrischen Hochspannungsleitungen netzartig überzogen sind, zu verbieten.

Flüge über Befestigungen und innerhalb eines Umkreises von 10 km von solchen sind, falls nicht eine schriftliche Erlaubnis der zuständigen militärischen Behörde (Gouvernement, Kommandantur usw.) erteilt ist, zu verbieten. Bei der Landung von Fliegern, die hiergegen verstoßen haben, sind sowohl sie selbst als auch Mitfahrende als der Spionage verdächtig anzusehen; ihre Personalien sind festzustellen, und es ist nachzuforschen, ob verdächtige photographische Aufnahmen oder Zeichnungen gemacht worden sind.

4. Eine besondere Kennzeichnung der Flugzeuge soll einstweilen nicht gefordert werden.

5. Alle Personen, welche Flüge, abgesehen von den unter Ziffer 1 bezeichneten Flugversuchen, an dazu geeigneten Stellen unternehmen wollen, bedürfen dazu eines „Zeugnisses für Flugzeugführer“, welches von dem Vorstände des Deutschen Luftschiffverbandes, Berlin W. 9, Voßstraße 21, ausgestellt worden ist. Dieses Zeugnis muß darüber Auskunft geben, mit welcher Art (Typ) von Flugzeugen der Inhaber zu fliegen für befähigt erachtet worden ist. Das Aufsteigen mit einem anderen Typ als dem in dem Führerzeugnis bezeichneten ist zu untersagen, bis der betreffende Flieger die Ausdehnung seines Zeugnisses auf den anderen Typ bei dem Vorstände des Deutschen Luftschiffverbandes eingeholt hat.

6. Von einer Prüfung und Abnahme der Flugzeuge kann vorläufig noch abgesehen werden.

7. Die Polizeibehörden haben namentlich darauf zu achten, daß die Personen, welche Schauflüge und sogenannte Passagierflüge (Mitnehmen von unbeteiligten Dritten, Führer-Aspiranten usw.) ausführen, sich im Besitze des Flugzeugführerzeugnisses (Ziffer 5) befinden.

8. Der Vorstand des Deutschen Luftschiffverbandes wird von jedem Falle der Erteilung, Ausdehnung oder Entziehung des Flugzeugführerzeugnisses dem Polizeipräsidenten in Berlin Mitteilung machen. Bestehen hinsichtlich eines solchen Zeugnisses oder seines Inhabers Zweifel, so hat die Polizeibehörde sich um Auskunft an den Polizeipräsidenten in Berlin zu wenden.

9. Im übrigen ist die Flug- und Sportplatz-Gesellschaft Berlin-Johannisthal in Berlin W. 35, Lützowstraße 89/90, bereit, Auskünfte über Flieger und Flugzeuge zu erteilen.

B. Luftschiffahrt.

a) In Luftschiffen.

1. Die Führer von Luftschiffen, in denen Fahrgäste (unbeteiligte Dritte, Führer-Aspiranten usw.) mitgenommen werden, müssen sich im Besitz eines von dem Vorstände des Deutschen Luftschiffverbandes ausgestellten „Zeugnisses für Luftschiffführer“ befinden. In jedem derartigen Luftschiffe muß mindestens ein durch ein solches Zeugnis anerkannter Führer vorhanden sein. Es ist darauf hinzuwirken, daß möglichst alle an der Führung des Luftschiffes beteiligten Personen (Höhensteuerer, Seitensteuerer usw.) das Führerzeugnis erworben haben. Das Führerzeugnis muß für den Typ von Luftschiffen ausgestellt sein, welchen der Inhaber bei Fahrten mit Fahrgästen bedienen soll. Ferner muß in einem Luftschiff, das zu solchen Fahrten dient, die mit der Handhabung des Motors betraute Besatzung ihre Befähigung hierfür

durch ein Zeugnis nachweisen, das von einem Sachverständigen zur Prüfung von Kraftfahrzeugführern ausgestellt worden ist.

2. Der Veranstalter der Fahrten mit Fahrgästen hat ein der Polizeibehörde auf Verlangen vorzulegendes Revisionsbuch zu führen, in welches der verantwortliche Leiter des Luftschiffes einzutragen hat, wann und wie die einzelnen Teile des Luftschiffes einer Prüfung auf ihre Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit unterworfen worden sind. Das Revisionsbuch ist nach anliegendem Muster Anlage A einzurichten. (Wird später veröffentlicht).

Die Firma, von welcher es bezogen werden kann, wird von dem Deutschen Luftschifferverbände bekanntgemacht werden.

3. Auf die Veranstalter von Fahrten mit Fahrgästen finden die Vorschriften unter A 3 Abs. 2 entsprechende Anwendung.

b) In Freiballonen.

1. Der Führer von Freiballonen, in denen Fahrgäste mitgenommen werden, müssen sich im Besitze eines von einem Verein des Deutschen Luftschifferverbandes ausgestellten, von dem Verbandsvorstande visierten Führerzeugnisses befinden.

2. Fahrgäste dürfen bei Fahrten von Freiballonen nur dann mitgenommen werden, wenn der Führer ein Zeugnis darüber beibringt, daß der Freiballon hinsichtlich des Materials und der Ausstattung einer Prüfung durch einen von der Landespolizeibehörde zu bestimmenden Verein oder Sachverständigen unterzogen worden ist. Dieses Zeugnis hat ein Jahr Gültigkeit.

3. Bei dem Aufstiege von Freiballonen zu Fahrten mit Fahrgästen muß ein Beauftragter des zuständigen Vereins, oder in dessen Ermangelung ein Beauftragter der Ortspolizeibehörde zugegen sein.

4. Luftschiffer, welche ein Führerzeugnis erwerben oder Fahrten mit Fahrgästen veranstalten wollen, ohne Mitglieder eines dem Deutschen Luftschifferverbände angehörenden Vereins zu sein, haben sich an den Verein ihres Wohnorts, erforderlichenfalls wegen Bezeichnung eines derartigen Vereins an den Vorstand des Deutschen Luftschifferverbandes zu wenden.

C. Fesselballone.

1. Die Führer von Fesselballonen, in denen Fahrgäste mitgenommen werden, müssen sich im Besitze eines von einem Verein des Deutschen Luftschifferverbandes ausgestellten, von dem Verbandsvorstande visierten Führerzeugnisses befinden.

2. Fahrgäste dürfen bei Aufstiegen von Fesselballonen nur dann mitgenommen werden, wenn der Führer ein Zeugnis darüber beibringt, daß der Fesselballon hinsichtlich des Materials und der Ausstattung einer Prüfung durch einen von der Landespolizeibehörde zu bestimmenden Verein oder Sachverständigen unterzogen, und wenn die Aufstiegsstelle von einem Sachverständigen für geeignet befunden worden ist. Die Prüfungsbescheinigung hat ein Jahr Gültigkeit.

3. Vor dem Beginn von Aufstiegen mit Fesselballonen, soweit solche nicht wissenschaftlichen Zwecken dienen, muß eine Besichtigung des Ballons und seines Zubehörs durch einen Beauftragten des zuständigen Vereins oder in dessen Ermangelung durch einen Beauftragten der Ortspolizeibehörde erfolgen.

4. Personen, welche ein Führerzeugnis erwerben oder Aufstiege mit Fahrgästen veranstalten wollen, ohne Mitglieder eines dem Deutschen Luftschifferverbände angehörenden Vereins zu sein, haben sich an den Verein ihres Wohnortes, erforderlichenfalls wegen Bezeichnung eines derartigen Vereins an den Vorstand des Deutschen Luftschifferverbandes zu wenden.

5. Aufstiege mit Fahrgästen dürfen innerhalb eines Umkreises von 10 km von Befestigungen nur mit schriftlicher Zustimmung der zuständigen Militärbehörde zugelassen werden. Die Vorschriften unter A 3 Abs. 2 finden entsprechende Anwendung.

D. Allgemeines.

1. Für Ausländer treten an die Stelle der unter A 5, B a 1, b 1 und C 1 erwähnten Zeugnisse die entsprechenden, von dem Vorstande des Deutschen Luftschifferverbandes anerkannten ausländischen Zeugnisse.

2. Die Bestimmungen unter A, B und C finden keine Anwendung auf die Luftfahrzeuge der Militärverwaltung.

3. Die Polizeibehörden haben von den ihrerseits erlassenen Anordnungen allgemeiner Natur, namentlich von solchen, durch die aus besonderen Gründen das Aufsteigen von Fliegern auch außerhalb geschlossener Ortschaften verboten oder von einer besonderen Erlaubnis abhängig gemacht wird, sowohl dem Deutschen Luftschifferverbande als auch den in der Anlage C aufgeführten Fachblättern mitzuteilen. Kosten dürfen den Behörden durch die Veröffentlichung der Anordnungen in diesen Blättern nicht entstehen.

Der Minister der öffentlichen Arbeiten.
gez. v. Breitenbach.

Der Minister des Innern.
In Vertretung: gez. Holtz.

An die Herren Regierungspräsidenten und den Herrn Polizeipräsidenten in Berlin.

Anlage A.

Muster zum Revisionsbuch.

<p style="text-align: center;">Nationale.</p> <p>Besitzer:</p> <p>Hersteller:</p> <p>System (Fabrikzeichen):</p> <p>Datum der Herstellung:</p> <p>Indienststellung:</p> <p>Gas-Rauminhalt in cbm:</p> <p>Länge:</p> <p>Höhe:</p> <p>Größte Breite:</p> <p>Einschl. Anbauten:</p> <p>Gesamthöhe des Luftschiffes:</p> <p>Seite 2</p> <p>Zahl und Art der Gondeln:</p> <p>Aufhängung der Gondeln:</p> <p>Zahl, Verteilung und Stärke der Motoren:</p> <p>Zahl, Art, Größe, Ort, Material und Benzinbehälter:</p> <p>Zahl, Verteilung, Art und Größe der Luftschrauben:</p> <p>Zahl und Art der Steuer:</p> <p> a) Höhensteuer:</p> <p> b) Seitensteuer:</p> <p>Zahl, Größe, Stoff der Gaszellen:</p>	<p>Ballonets:</p> <p>Zahl und Art der Ventilatoren:</p> <p style="text-align: right;">Seite 3</p> <p>Zahl:</p> <p>Art:</p> <p>Ort:</p> <p>Größe:</p> <p>Hub:</p> <p>Ballonetventile:</p> <p>Ventilbetätigung durch:</p> <p>Räume für Fahrgäste:</p> <p>Höchstzahl der Fahrgäste:</p> <p>Mindestgewicht an Ballast:</p> <p>Art und Unterbringung des Ballast:</p> <p>Seite 4</p> <p style="text-align: center;">(Seiten 5 bis 14 wie 4).</p> <p style="text-align: center;">Revisionsbefunde.</p> <p>Datum:</p> <p>Gashüllen (Festigkeit):</p> <p> „ (Dichtigkeit):</p> <p>Ballonets:</p> <p>Ventile:</p> <p>Starre Gerüstteile:</p> <p>Gondeln:</p> <p>Steuerorgane:</p>
---	--

Aufhängung:

 Motoren:
 Luftschrauben:
 Ventilatoren:
 Kraftübertragungen:

 Ballasteinrichtungen:

Seite 15

(Ebenso eine beliebige Anzahl Doppelseiten.)

Fahrtberichte.

(für jede Fahrt auszufüllen.)

Tag:
 Führer:
 Besatzung:

 Fahrgäste:

 Gasfüllung: Tag: Menge:
 Letzte Nachfüllung: „

Betriebsstoffe:
 a) Benzin:
 b) Öl:
 c) Kühlwasser:

Seite 16

Ballast:

 Aufstiegsort:
 Aufstiegszeit:
 Fahrt über:

 Fahrt nach:

 Größte Höhe:

 Landungszeit:
 Landungsort:
 Ballastverbrauch:

 Grund der Landung:
 Witterung:
 Bemerkungen:

Anlage B.

Vereine, die zur Prüfung von Freiballonen und Fesselballonen ermächtigt sind:

1. Berliner Verein für Luftschiffahrt, Berlin W. 9, Voßstraße 21;
2. Niederrheinischer Verein für Luftschiffahrt, Barmen, Hugo Eckert;
3. Posener Verein für Luftschiffahrt, Posen, Thiergartenstraße 8;
4. Ostdeutscher Verein für Luftschiffahrt, Graudenz, Oberbergstraße 40 I;
5. Mittelrheinischer Verein für Luftschiffahrt Mainz, Schillerplatz 1;
6. Cölner Klub für Luftschiffahrt, Cöln, Kattenbug 1—3;
7. Niedersächsischer Verein für Luftschiffahrt, Göttingen, Sternstraße 6;
8. Schlesischer Verein für Luftschiffahrt, Breslau, Kaiser-Wilhelm-Straße 21;
9. Pommerscher Verein für Luftschiffahrt, Stettin, Gr. Domstraße (Kreishaus);
10. Hamburger Verein für Luftschiffahrt, Hamburg, Rechtsanwalt Dr. Mönckeberg, Hamburg, Gr. Bleichen 64;
11. Württembergischer Verein für Luftschiffahrt, Stuttgart;
12. Magdeburger Verein für Luftschiffahrt, Magdeburg, Wetterwarte der Magdeb. Zeitung, Bahnhofstraße 17;

13. Frankfurter Verein für Luftschiffahrt, Frankfurt a. M., Kettenhofweg 136;
14. Lübecker Verein f. Luftschiffahrt, Lübeck, Israelsdorfer-Allee 13a;
15. Sächsisch-Thüringischer Verein für Luftschiffahrt, Weimar, Belvedere-Allee 5; Sektion Halle a. S., Halle a. S., Poststr. 6; Sektion Erfurt, Erfurt, Bismarckstr. 6; Sektion Thüringische Staaten, Jena, Weimar, Belvedere-Allee 5;
16. Kaiserlicher Aero-Club, Berlin W. 30, Nollendorfsplatz 3;
17. Nordwestdeutscher Verein für Luftschiffahrt, Osnabrück, Wittekindstraße 4;
18. Hannoverscher Verein für Luftschiffahrt, Hannover, Schriftführer: Podbielski-straße 327;
19. Verein für Luftschiffahrt, Kolmar (Pos.), Kolmar (Pos.), Bankdirektor Strohmänn;
20. Leipziger Verein für Luftschiffahrt, Leipzig, Markt 1;
21. Braunschweigischer Verein für Luftschiffahrt, Braunschweig, Auguststorwall 5;
22. Verein für Luftschiffahrt von Bitterfeld und Umgegend. Bitterfeld, Weststraße 5 und Lindenstraße 18;
23. Ostpreußischer Verein für Luftschiffahrt, Königsberg i. Pr., Steindamm 2;
24. Westpreußischer Verein für Luftschiffahrt, Danzig, Holzmarkt 12/14;

- | | |
|--|--|
| 25. Bremer Verein für Luftschiffahrt, Bremen;
26. Anhaltischer Verein für Luftschiffahrt,
Dessau;
27. Bromberger Verein für Luftschiffahrt,
Bromberg;
28. Westfälisch-Lippescher Verein für Luft-
schiffahrt, Bielefeld;
29. Oldenburgischer Verein für Luftschiffahrt,
Oldenburg; | 30. Verein für Luftschiffahrt am Bodensee,
Konstanz;
31. Trierer Klub für Luftschiffahrt, Trier;
32. Luftschiffahrtsverein für Münster und das
Münsterland, Münster;
33. Seeoffizier-Luftklub, Wilhelmshaven;
34. Kurhessischer Verein für Luftschiffahrt,
Marburg. |
|--|--|

Anlage C.

Fachblätter.

- | | |
|---|---|
| 1. Deutsche Zeitschrift für Luftschiffahrt,
Berlin W. 35, Lützowstraße 105;
2. Die Luftflotte, Berlin W. 30, Martin-
Luther-Straße 10.
3. Zeitschrift für Flugtechnik und Motor-
luftschiffahrt, Berlin W. 57, Bülowstr. 73; | 4. Luftschiffahrt, Flugtechnik und -sport,
Bielefeld, Verlag E. Gundlach.
5. Im Reich der Lüfte, Berlin SW. 68,
Zimmerstraße 70;
6. Der Luftverkehr, Leipzig - Plagwitz,
Nonnenstraße 25/27;
7. Flugsport, Frankfurt a. M., Bahnhofs-
platz 8. |
|---|---|

II. Die englische Aerial Navigation Act, 1911.

(1 & 2 Geo. 5.)

Chapter 4.

An Act to provide for the protection of the public against dangers arising from the Navigation of Aircraft.

(2nd June 1911).

Be it enacted by the King's most Excellent Majesty, by and with the advice consent of the Lords Spiritual and Temporal, and Commons, in this present Parliament assembled, and by the authority of the same, as follows:

Power to prohibit navigation of aircraft over prescribed areas.

1. (1) A Secretary of State may, for the purpose of protecting the public from danger, from time to time by order prohibit the navigation of aircraft over such areas as may be prescribed in the order, and, if any person navigates an aircraft over any such area in contravention of any such order, he shall be guilty of an offence under this act, unless he proves that he was compelled to do so by reason of stress of weather or other circumstances over which he had no control.

(2) Any such order may apply either generally to all aircraft or to aircraft of such classes and descriptions only as may be specified in the order, and may prohibit the navigation of aircraft over any such prescribed area either at all times or at such times or on such occasions only as may be specified in the order, and either absolutely or subject to such exceptions or conditions as may be so specified.

Penalties for offences.

2. (1) If any person is guilty of an offence under this Act he shall be liable on conviction on indictment or on summary conviction to imprisonment for a term not exceeding six months, or to a fine not exceeding two hundred pounds, or to both such imprisonment and fine.

(2) Any person aggrieved by a summary conviction under this Act may, in England or Ireland, appeal to a court of quarter sessions, and in Scotland in like manner as in the case of a conviction under the Motor Car Act, 1903, as provided by section eighteen of that Act ¹⁾.

3. This Act may be cited as the Aerial Navigation Act 1911.

¹⁾ Vgl. 3 Edw. 7. c. 36.

III. Bill der American Bar Association Septembre 1910¹⁾.

An act to regulate commerce by air-ships.

Section 1. Be it enacted by the Senate and House of Representatives of the United States of America, in Congress assembled, that

The term air-ship in this Act includes every kind of vehicle or structure intended for use as a means of transporting passengers or goods, or both, in the air.

The term aeronaut in this Act includes every one who, being in or upon any such vehicle or structure, or anything thereto attached, undertakes to direct its ascent, or course, or descent in the air.

The verb to fly and the word voyage, as used in this Act, include every kind of locomotion by an air-ship.

Sec. 2. No air-ship shall be flown from any point within the jurisdiction of the United States to a foreign country, or from any point within any State of the United States to any other State of the United States, or from any point in any Territory of the United States to any other Territory of the United States, or any State of the United States, or any foreign country, except under the conditions prescribed in the following sections.

Sec. 3. It must carry and be in charge of an aeronaut, whose competency, as such, is certified under the authority of the United States.

Sec. 4. It must either carry a flag of the United States not less than six feet by ten in size, and display the same while over the territory of any foreign country, or it must have a copy of the flag, of not less size, painted on some part of the air-ship, so as to be visible to those who may be beneath it.

Sec. 5. It must have a number, in characters not less than three feet in height, painted on some part of the air-ship, so as to be visible to those who may be beneath it.

Sec. 6. It must be registered by this number in the office of the Collector of Internal Revenue for the district including the residence of the owner or charterer, or if such owner or charterer do not reside in any such district, then in the office of such collector for the district in which the voyage is to be begun by the ascent of the air-ship: and a certificate of the registry issued by said collector.

Sec. 7. The owner of the air-ship, or if he has let it to another for such voyage, either the owner or such charterer, shall, before the voyage is commenced, file in the office of such Collector a bond to answer for all damages that may result to any person or persons, as an incident of any voyage that said air-ship may make or attempt to make, either from the descent of the air-ship, or from the fall of the air-ship, or any part thereof, or anything that was on board of it, or from the trailing of anything in the nature of a guide-rope. Such bond must be a joint and several bond, signed, by such owner or charterer and a sufficient surety, and shall be for such an amount, not less than \$ 1000, as the Collector of Internal Revenue for the District wherein the air-ship is registered may order, and such Collector must also endorse the bond with his approval of the sufficiency of the surety. Such bond shall be payable to the United States of America; but any person claiming damages thereunder may bring suit upon it any court having competent jurisdiction, whether a court of the United States or of any State or Territory of the United States, or of any foreign country, within the territorial jurisdiction of which court he claims that such damages were caused; or, at the option, of such plaintiff, in any such court within the territorial jurisdiction of which he can make due service of process on the bondsmen or either of them. If such suit be terminated by a judgment for the defendant, he shall recover the costs of suit from the party bringing such suit.

Sec. 8. The air-ship must carry, throughout any trip, a copy of such bond and of its certificate of registry, and of the certificate of the competency of the aeronaut, which copies shall be authenticated under the hand seal of the Collector of Internal Revenue, in whose office the original of each must be filed.

¹⁾ Nach Michigan Law Review IX p. 25 f.

Sec. 9. The aeronaut for the voyage, as an incident of which any damage may be claimed, shall allow any party claiming to be so damaged to make and keep copies of any or all of the papers mentioned in Section 8.

Sec. 10. The certificate mentioned in Section 3 may be granted by the District Attorney of the United States for any Judicial District, after such examination and tests as he may think fit to impose, to be conducted by himself or such persons as he may appoint or approve. It shall be signed by the clerk of the District Court of the United States in which he is Attorney, and authenticated under the seal of the court.

The expence of such examination, tests, certificate, shall be paid by the applicant for such certificate, in advance, and if a certificate be refused, the fee for the certificate shall be refunded to him.

Sec. 11. Said bond may be limited to be in force for only one year from the date of filing, or for any other term exceeding one year. If not so limited, it shall be in force during the life of the air-ship therein mentioned.

Sec. 12. No minor shall receive a certificate of competency.

Sec. 13. Fees under this Act shall be collectible as follows.

To the District Attorney.

For the examination and tests provided for by Section 10, such sum as he may demand in any instance, not exceeding \$ 25; for granting a certificate or competency, \$ 5.

To the Clerk of the District Court.

For the issue of a certificate of competency under seal, \$ 2.

To the Collector of Internal Revenue.

For filing each certificate of competency or bond, \$ 1; for making, recording and certifying to each registry, \$ 2; for authenticating a copy of either certificate or of the bond, \$ 2; for approving or disapproving every bond offered for his approval, \$ 5.

Sec. 14. Any violation of any provision of this Act by the owner or charterer of any air-ship, or by any aeronaut, shall be a misdemeanor, and punishable by a fine not exceeding \$ 1000 or by imprisonment for not exceeding thirty days, or by both, at the discretion of the court.

IV. Beschlüsse der Madrider Verhandlung des Institut de droit international 1911.

Régime juridique des Aéronefs.

1. Temps de Paix.

1. Les aéronefs se distinguent en aéronefs publics et en aéronefs privés.

2. Tout aéronef doit avoir une nationalité et une seule. Cette nationalité sera celle du pays ou l'aéronef aura été immatriculé. Chaque aéronef doit porter des marques spéciales de reconnaissance. L'Etat auquel l'immatriculation est demandée, détermine à quelles personnes et sous quelles conditions il peut l'accorder, la suspendre ou la retirer.

L'Etat qui immatricule l'aéronef d'un propriétaire étranger ne saurait toutefois prétendre à la protection de cet aéronef, sur le territoire de l'Etat dont relève ce propriétaire, contre l'application des lois par lesquelles cet Etat aurait interdit à ses nationaux de faire immatriculer leurs aéronefs à l'étranger.

3. La circulation aérienne internationale est libre, sauf le droit pour les Etats sus-jacents de prendre certaines mesures, à déterminer, en vue de leur propre sécurité et de celle des personnes et des biens de leurs habitants.

2. Temps de guerre.

1. La guerre aérienne est permise, mais à la condition de ne pas présenter pour les personnes ou la propriété de la population pacifique de plus grands dangers que la guerre terrestre ou maritime.

V. Französisches Dekret über die Aviatik vom 21. November 1911¹⁾.

Le Président de la République française,

Sur les rapports des ministres des travaux publics, des postes et des télégraphes, de l'intérieur, des finances, de la guerre et de la marine,

Vu l'avis de la commission permanente de la navigation aérienne, instituée par arrêté du ministre des travaux publics, des postes et des télégraphes en date du 28 juin 1910,

Décède :

TITRE PREMIER. — DES PERMIS DE NAVIGATION.

Article premier. — Aucun aéronef ne peut être mis en service en France sans un permis de navigation, à moins qu'il ne satisfasse aux conditions prévues par les conventions internationales.

Art. 2. — La demande de permis est adressée par le propriétaire de l'aéronef au préfet de la résidence.

A la demande doivent être joints :

1° L'indication du nom, du domicile et de la nationalité du propriétaire. Si la demande émane d'un étranger, l'identité du requérant est établie par des actes visés par les autorités consulaires de son pays;

2° La photographie de l'aéronef, si la demande s'applique à un ballon dirigeable ou à un appareil d'aviation;

3° La justification que l'aéronef est d'origine française ou a acquitté les droits de douane;

4° Un certificat de navigabilité.

Art. 3. — Le certificat de navigabilité est établi par le service des mines après essais jugés par lui suffisants.

Le certificat de navigabilité doit contenir les indications suivantes: nom ou raison sociale et domicile du constructeur; lieu et année de la fabrication; numéros et autres marques d'identification données par le constructeur; caractéristiques de l'aéronef conformément aux prescriptions déterminées par une instruction du ministre des travaux publics. Le requérant est tenu de remettre au service des mines tous les documents nécessaires à l'établissement de ces indications.

Peuvent être considérés par le service des mines comme présentant des garanties suffisantes de navigabilité: les aéronefs reconnus, après essais, aptes à naviguer par les associations habilitées à cet effet, ceux d'origine française conformes à un type déjà agréé, ainsi que les ballons libres.

En vue de l'application du présent article, tout constructeur d'un appareil d'un type déjà agréé doit donner à chaque appareil un numéro de série, et dans la série à laquelle il appartient, un numéro d'ordre. Il remet à son acheteur une déclaration indiquant les caractéristiques de l'aéronef et attestant qu'elles sont entièrement conformes à celles du type déjà agréé. Cette pièce est jointe à la demande de certificat adressée au service des mines.

Sont également adressées au service des mines les attestations de navigabilité émanant des sociétés qui ont constaté la navigabilité d'un aéronef.

Art. 4. — Sur le vu de la demande de permis et des pièces annexées, le préfet procède à l'immatriculation de l'aéronef.

L'inscription sur le registre matricule comprend: 1° la date de l'inscription; 2° le numéro d'ordre du registre matricule; 3° l'indication du port d'attache si l'aéronef est un ballon dirigeable; 4° la description de l'aéronef; 5° l'indication des marques d'identification données par le constructeur; 6° les lettres et la numéro distinctifs donnés par le préfet dans les conditions qui seront fixées par le ministre des travaux publics; 7° les nom, domicile et nationalité du propriétaire de l'aéronef.

Après avoir procédé à l'immatriculation, le préfet délivre le permis de navigation qui reproduit les mentions du certificat de navigabilité et celles du registre matricule. Sur le permis est apposée la photographie de l'aéronef, s'il s'agit d'un ballon dirigeable ou d'un appareil d'aviation.

¹⁾ Locom. aérienne II p. 305f.

Art. 5. — Aucun aéronef ne peut circuler sans porter en caractères apparents, dans les conditions qui seront fixées par le ministre des travaux publics :

1° La lettre F, si l'aéronef appartient à un Français ou à un étranger domicilié en France, ou à une société ayant son siège social en France ;

2° Les lettres et numéros distinctifs inscrits sur le registre matricule.

Art. 6. — Le permis de navigation cesse d'être valable et doit être renouvelé en cas de changement entraînant des modifications dans ses énonciations. Le permis qui a cessé d'être valable doit être renvoyé par le titulaire de ce permis au préfet dont il émane, aux fins de radiation à effectuer sur le registre matricule.

Le propriétaire d'un aéronef est également tenu de renvoyer aux fins de radiation son permis de navigation au préfet qui l'a délivré si l'aéronef a été détruit ou s'il est hors d'usage.

Art. 7. — A toute époque, le service des mines peut visiter les aéronefs admis à circuler.

Les associations dûment habilitées peuvent également visiter les aéronefs dont elles ont garanti la navigabilité ; elles doivent communiquer au service des mines le résultat de leurs visites.

S'il est constaté qu'un aéronef ne répond plus aux spécifications du permis de navigation, ce permis est retiré par arrêté du préfet sur avis du service des mines, et notification immédiate de cet arrêté est faite au propriétaire de l'appareil.

S'il est reconnu qu'un aéronef n'est pas en bon état d'entretien, le permis peut également être retiré, après une mise en demeure restée sans effet.

TITRE II. — DE LA CONDUITE DES AÉRONEFS.

Art. 8. — Les aéronefs ne sont admis à circuler que s'ils ont à bord un pilote pourvu d'un brevet d'aptitude.

Le brevet d'aptitude est délivré par le préfet, après examen par le service des mines où par une société habilitée à cet effet par l'administration.

Art. 9. — Des brevets différents sont délivrés pour la conduite d'un ballon libre, d'un ballon dirigeable ou d'un appareil d'aviation, et le brevet d'aptitude délivré pour une catégorie d'aéronefs n'habilite pas à conduire un appareil d'une autre catégorie.

Art. 10. — Le brevet d'aptitude contient les nom, prénoms et signalement du titulaire, son lieu et sa date de naissance, ainsi que sa photographie et sa signature.

Il ne peut être accordé à des personnes âgées de moins de dix-huit ans, sauf autorisation spéciale du ministre des travaux publics ; il ne peut être délivré qu'à des personnes de bonne moralité.

Le brevet d'aptitude peut être retiré par le préfet, sauf recours au ministre des travaux publics, s'il est évident que les conditions dans lesquelles il a été délivré ne sont plus remplies.

TITRE III. — DE LA CIRCULATION DES AÉRONEFS.

Art. 11. — Il est interdit aux aéronefs d'atterrir dans les agglomérations, sauf sur les emplacements spécialement désignés par l'autorité municipale.

Art. 12. — Sauf autorisation spéciale, il est défendu aux aéronefs de passer au-dessus des zones interdites. Ces zones sont énumérées par un décret qui en définit les limites et qui est inséré au Journal Officiel.

Art. 13. — Tout aéronef qui s'engage sans autorisation au-dessus d'une zone interdite est tenu d'atterrir dès qu'il y est invité et, s'il y a impossibilité de le faire immédiatement, dès qu'il le peut.

Art. 14. — L'administration arrêtera les modes d'avertissements qui pourront être employés pour prévenir un aéronef qu'il est au-dessus d'une zone interdite et pour l'inviter à atterrir.

Art. 15. — Sauf autorisation spéciale du ministre de l'intérieur, le transport, par aéronefs, des explosifs, armes et munitions de guerre, pigeons voyageurs, est interdit.

Cette autorisation ne sera valable pour le transport des pigeons voyageurs qu'avec l'assentiment du ministre de la guerre ou de la marine quand l'aéronef sera autorisé à passer au-dessus des zones interdites.

Art. 16. — Le transport et l'usage des appareils de photographie sont interdits, à moins d'autorisation spéciale du préfet.

Cette autorisation ne sera valable qu'avec l'assentiment du ministre de la guerre ou de la marine, quand l'aéronef sera autorisé à passer au-dessus des zones interdites.

Art. 17. — Les aéronefs ne peuvent avoir à leur bord des appareils radiotélégraphiques ou radiotéléphoniques qu'à la condition d'y avoir été autorisés par le ministre des travaux publics, des postes et des télégraphes, après avis de la commission inter-ministérielle de télégraphie sans fil.

TITRE IV. — DES RÈGIES A OBSERVER LORS DU DÉPART, DE L'ATERRISSAGE ET EN COURS DE ROUTE.

Art. 18. — Sans préjudice de l'accomplissement des formalités fiscales, les aéronefs doivent avoir à bord, pour circuler, leurs permis de navigation, ainsi que les brevets du personnel obligé d'en être muni.

Il est tenu en outre un livre de bord.

Ces documents doivent être présentés à toute réquisition de l'autorité publique.

Art. 19. — Le livre de bord doit contenir les indications suivantes: la catégorie à laquelle appartient l'aéronef, le lieu et le numéro d'immatriculation, le nom, la nationalité, la profession et le domicile du propriétaire.

Art. 20. — Sont portés sur le livre de bord pour chaque ascension:

1° Le nom, la nationalité, le domicile du pilote et des hommes d'équipage, ainsi que les noms des voyageurs;

2° L'indication de la marche suivie en plan et en altitude toutes les fois que les circonstances le permettront; pour les ballons dirigeables, la marche en plan est indiquée sur une carte et la marche en altitude l'est à l'aide d'un barographe qu'ils sont tenus d'avoir à bord;

3° L'indication de tous les événements intéressants, notamment les escales et les accidents survenus à l'aéronef, à l'équipage et aux autres voyageurs.

Les mentions ci-dessus énumérées sont portées sur le livre de bord autant que possible au cours de l'ascension ou, en cas d'empêchement, après l'ascension et dans un délai maximum de douze heures.

Art. 21. — Pour les appareils d'aviation, les indications relatives au personnel aux points de départ et d'arrivée, aux escales et aux accidents sont seules exigées.

Art. 22. — Le livre de bord doit être conservé pendant deux ans après la dernière inscription et être représenté à toute réquisition de l'autorité publique.

Art. 23. — Les représentants de l'autorité publique peuvent visiter tout aéronef pour exercer les droits de police et de surveillance fiscale.

Art. 24. — Quand un aéronef arrive de l'étranger, le pilote doit immédiatement prévenir le maire de la localité du point d'atterrissage qui veille à ce que le chargement, s'il y a lieu, ne puisse être distrait, ni le matériel emporté avant que les agents du fisc n'aient pu procéder aux vérifications et aux opérations nécessaires.

Art. 25. — La circulation aérienne doit être effectuée en conformité du règlement spécial annexé au présent décret et concernant notamment:

Les feux;

Les signaux phoniques;

Les règles de route et de manoeuvres;

Les signaux d'atterrissage et de détresse;

L'emploi du lest.

Art. 26. — En cas de danger couru par un aéronef, les autorités locales doivent prendre les mesures en leur pouvoir pour lui prêter assistance.

Art. 27. — Toute personne qui trouve une épave d'aéronef doit en faire la déclaration à l'autorité municipale; si l'épave est trouvée en mer, la déclaration doit être faite à l'autorité du premier port où le navire aborde.

TITRE V. — DES AÉRONEFS PUBLICS.

Art. 28. — Sont considérés comme aéronefs publics les aéronefs affectés au service de l'Etat et se trouvant sous les ordres d'un fonctionnaire à ce dûment commissionné.

Art. 29. — Les dispositions du présent règlement sont applicables aux aéronefs publics, à l'exception des articles 2 à 10 et 17 à 23.

Les conditions techniques applicables aux appareils radiotélégraphiques et radiotéléphoniques placés à bord des aéronefs publics sont fixées par le ministère intéressé, après avis de la commission interministérielle de télégraphie sans fil.

Art. 30. — Sont considérés comme aéronefs militaires, les aéronefs publics placés sous les ordres d'un commandant portant l'uniforme et qui ont à bord un certificat établissant leur caractère militaire. Les dispositions mentionnées aux articles 12 à 16 ne leur sont pas applicables.

Art. 31. — Les aéronefs publics portent comme seule marque un signe distinctif qui est différent pour les aéronefs militaires et pour ceux dépendant des autres administrations publiques.

Art. 32. — La circulation en France des aéronefs militaires étrangers est interdite.

TITRE VI. — DISPOSITIONS DIVERSES.

Art. 33. — Ne sont pas soumis aux dispositions des titres I et II et des articles 18 à 22, 24, 26, et 27 du titre IV les aéronefs évoluant au-dessus des aérodromes, tant que ces évolutions ne donnent pas lieu à spectacle public.

Pour les aéronefs évoluant en dehors des aérodromes dans les régions agréées par l'administration des travaux publics comme champs d'expérience, les titres I et II et les articles 18 à 22 du titre IV ne sont pas applicables.

Art. 34. — Les évolutions d'aéronefs, lorsqu'elles constituent des spectacles publics, ne peuvent avoir lieu qu'en vertu d'une autorisation du préfet, après avis du maire.

Pour les épreuves comportant un trajet au-dessus de la pleine campagne et organisées à date fixe, l'autorisation, sera donnée après avis des maires des communes où doivent avoir lieu les départs, les escales et les arrivées, par le préfet du département si un seul département est intéressé, par le ministre de l'intérieur en cas contraire.

Pour ces épreuves, comme pour les spectacles publics, la demande doit être faite un mois au moins à l'avance, afin de permettre à l'autorité compétente de prendre dans l'intérêt public toutes les mesures nécessaires.

Aucune autorisation ne peut être accordée que sous réserve de l'engagement pris par le pétitionnaire de supporter les frais de surveillance et tous autres frais occasionnés à l'administration par l'épreuve.

Le pétitionnaire doit, à cet effet, déposer une consignation préalable.

Art. 35. — Les ministres des travaux publics, des postes et des télégraphes, de l'intérieur, des finances, de la guerre et de la marine sont chargés chacun en ce qui le concerne, d'assurer l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal officiel et inséré au Bulletin des lois.

Fait à Paris, le 21 novembre 1911.

A. FALLIÈRES.

Par le Président de la République:

*Le ministre des travaux publics,
des postes et des télégraphes,*
VICTOR AUGAGNEUR.

Le président du conseil, ministre de l'intérieur,
J. CAILLAUX.

Le ministre des finances,
L.-L. KLOTZ.

Le ministre de la guerre,
MESSIMY.

Le ministre de la marine,
DELCASSÉ.

ANNEXES, — Règlement de la circulation aérienne.

I. — RÈGLES CONCERNANT LES FEUX.

Article premier. — Les règles concernant les feux doivent être observées par tous les temps, du coucher au lever du soleil, et, pendant cet intervalle, on ne doit montrer aucun feu pouvant être pris pour un des feux prescrits.

Feux que doivent porter les ballons dirigeables.

Art. 2. — Un ballon dirigeable faisant route, c'est-à-dire ayant une vitesse propre, doit porter:

g) A l'avant, un feu blanc brillant disposé de manière à montrer une lumière ininterrompue sur tout le parcours d'un arc horizontal de 220°, soit 110° de chaque côté de l'aéronef à partir de l'avant;

b) A droite un feu vert établi de manière à projeter une lumière ininterrompue sur tout le parcours d'un arc horizontal de 110°, c'est-à-dire depuis l'avant jusqu'à 20° sur l'arrière du travers du côté droit;

c) A gauche, un feu rouge établi de manière à projeter une lumière ininterrompue sur tout le parcours d'un arc horizontal de 110°, c'est-à-dire depuis l'avant jusqu'à 20° sur l'arrière du travers, du côté gauche.

d) Les trois feux, blanc, vert et rouge, devront être visibles dans chaque plan vertical correspondant à leurs zones respectives dans toute direction comprise entre la verticale, vers le bas, et une ligne se rapprochant autant que possible de la verticale et faisant un angle d'au moins 30° avec l'horizontale, vers le haut;

e) Les feux de côté, vert et rouge, devront être munis d'écrans disposés de telle sorte que leur lumière ne puisse être aperçue du côté opposé;

f) Le feu blanc doit être visible à une distance d'au moins 4 kilomètres, les feux vert et rouge à une distance d'au moins 2 kilomètres, par nuit noire et atmosphère pure;

g) Un ballon dirigeable devra, en outre, avoir les moyens de montrer occasionnellement un feu blanc derrière, s'il est rattrapé par un autre aéronef.

Feux des appareils d'aviation.

Art. 3. — Les règles relatives aux feux sont applicables, en principe, aux appareils d'aviation. Toutefois, par une mesure de tolérance temporaire, ils ne sont astreints qu'à porter un seul fanal, disposé de manière à montrer un feu vert à droite et un feu rouge à gauche.

Les angles de visibilité, dans le plan horizontal, doivent être ceux prévus pour les ballons dirigeables. En ce qui concerne les angles de visibilité dans le plan vertical et le minimum de visibilité des feux, il est simplement recommandé de se rapprocher autant que possible des règles qui ont été prescrites pour les ballons dirigeables.

Feu des ballons libres.

Art. 4. — Les ballons libres doivent avoir, prêt à servir, un fanal à feu blanc et le montrer à l'approche d'un autre aéronef.

II. — SIGNAUX PHONIQUES.

Art. 5. — a) Par les temps de brouillard, de brume, de bruine, de neige ou pendant les forts grains de pluie, les ballons dirigeables doivent, tant de jour que de nuit, faire usage de signaux phoniques puissants discontinus.

b) Dans les mêmes conditions, les ballons libres devront faire usage de signaux analogues lorsqu'ils seront dans le voisinage d'aéronefs à moteur.

c) Les règles ci-dessus ne sont applicables aux appareils d'aviation que dans la mesure du possible.

III. — RÈGLES DE ROUTE ET DE MANOEUVRES.

Art. 6. — Un aéronef à moteur doit toujours se tenir à une distance d'au moins 100 mètres de tout autre aéronef, dans toute direction horizontale, verticale ou oblique.

Art. 7. — Les aéronefs à moteur doivent toujours s'écarter des ballons libres.

Art. 8. — Lorsque deux aéronefs à moteur font des routes qui se croisent de manière à faire craindre une collision, l'aéronef qui voit l'autre sur la droite de sa propre direction doit s'écarter de la route de cet autre aéronef.

Quand, d'après la règle ci-dessus, l'un des navires aériens doit changer sa route, l'autre doit conserver la sienne et maintenir sa vitesse.

Art. 9. — Tout aéronef à moteur qui est tenu, d'après ces règles, de s'écarter de la route d'un autre aéronef doit, si les circonstances de la rencontre le permettent, éviter de couper la route de l'autre aéronef sur l'avant de celui-ci.

Art. 10. — Lorsque deux aéronefs à moteur ont le cap l'un sur l'autre ou presque l'un sur l'autre, en suivant des directions opposées ou à peu près opposées, à des altitudes peu différentes, de manière à faire craindre une collision chacun d'eux doit venir sur la droite de sa propre direction de manière à laisser l'autre sur sa gauche.

Art. 11. — Quelles que soient les prescriptions des articles qui précèdent, tout aéronef à moteur qui en rattrape un autre, doit s'écarter de la route de ce dernier.

Doit être considéré comme aéronef qui en rattrape un autre, tout aéronef qui se rapproche d'un autre en venant direction de plus de 20° sur l'arrière du travers de ce dernier, c'est-à-dire qui se trouve dans une position telle, par rapport à l'aéronef rattrapé, qu'il ne pourrait, pendant la nuit, apercevoir aucun des feux de côté de celui-ci. Aucun changement ultérieur dans le relèvement des deux aéronefs ne pourra faire considérer l'aéronef qui rattrape l'autre comme croisant la route de ce dernier, au sens de l'article 8, et ne pourra l'affranchir de l'obligation de s'écarter de la route de l'aéronef rattrapé jusqu'à ce qu'il l'ait tout à fait dépassé.

Art. 12. — Toutes les fois que les règles précédentes ne précisent pas la manoeuvre qui doit être faite, l'aéronef ou les aéronefs qui ont l'obligation de manoeuvrer peuvent le faire aussi bien dans le sens vertical que dans le sens horizontal.

Art. 13. — En cas de collision imminente les deux aéronefs doivent faire la meilleure manoeuvre possible. En particulier, le plus élevé doit manoeuvrer pour monter et l'autre pour descendre.

Lorsqu'ils sont au même niveau, en cas de croisement, celui des deux qui aperçoit l'autre sur la droite de sa propre direction doit manoeuvrer pour monter et l'autre pour descendre.

Art. 14. — Lorsqu'un ballon dirigeable a stoppé volontairement, il doit montrer une boule noire très apparente; il reste, dans ce cas, soumis aux mêmes règles que les aéronefs en marche.

S'il n'est plus maître de sa manoeuvre pour cause d'avarie, il doit montrer deux boules noires très apparentes placées verticalement l'une au-dessus de l'autre. Dans ce cas, il est assimilable aux ballons libres.

La nuit, dans les deux cas, il ne montre que le feu blanc et est assimilable aux ballons libres.

IV. — SIGNAUX D'ATTERRISSAGE ET DE DÉTRESSE.

Art. 15. — Lorsqu'un ballon dirigeable se dispose à atterrir il doit:

De jour, faire apparaître sous la nacelle un pavillon rouge de forme triangulaire;

De nuit faire clignoter ou agiter un feu blanc, en maintenant allumés ses feux de côtés.

Art. 16. — a) En cas de détresse, au-dessus des terres comme au-dessus de la mer, un ballon dirigeable doit, dans la mesure du possible:

De jour, faire apparaître sous la nacelle un pavillon rouge triangulaire et montrer les deux boules noires superposées prévues à l'article 14.

De nuit, faire agiter ou clignoter un feu blanc en éteignant ses feux de côté.

De jour comme de nuit, il peut en outre faire usage d'un signal phonique.

b) Un ballon libre en détresse doit:

De jour, montrer sous la nacelle un pavillon rouge triangulaire, et la nuit, agiter un feu blanc.

Il peut, en outre, de jour comme de nuit, faire usage d'un signal phonique.

V. — EMPLOI DU LEST.

Art. 17. — Il est interdit d'employer d'autre lest que du sable très fin ou de l'eau.

Luftfahrt und Wissenschaft

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson**,
Gerichtsassessor **J. Sticker**,

Dipl.-Ing. **C. Eberhardt**,
Professor Dr. **R. Süring**

An das vorliegende erste Heft werden sich anschließen:

Die Querschnittsformen der Vogelflügel und ihre Verwertung für Luftschrauben. Von Dipl.-Ing. **C. Eberhardt**, Ingenieur beim Luftschiffer-Bataillon, Berlin.

Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Luftelektrizität.
I. Teil: **Die Empfangsstörung.** Von Dr. **Max Dieckmann**, Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Kgl. Technischen Hochschule zu München.

Physiologische und hygienische Wirkungen der Luftfahrt.
Von Dr. med. **N. Zuntz**, Geh. Reg.-Rat, Professor der Physiologie an der Landwirtschaftlichen Hochschule, Berlin.

Tabellen zur astronomischen Ortsbestimmung. Von Dr. **A. Kohlschütter**.

Verlag von **Julius Springer** in Berlin

**Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke)
in Berlin und Fürstenwalde (Spre).**

Luftfahrt und Wissenschaft

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson**, Dipl.-Ing. **C. Eberhardt**,
Gerichtsassessor **J. Sticker**, Professor Dr. **R. Süring**,
Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr. **H. Zimmermann**

Heft 2

**Experimentelle Untersuchungen
aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie
und Lufterlektrizität. 1. Teil**

Von

M. Dieckmann



Berlin

Verlag von Julius Springer

1912

MIT Engineering
Library

TL

543-

.L949

Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Lufterlektrizität

Von

Dr. M. Dieckmann,
Privatdozent für reine und angewandte Physik
an der Kgl. Technischen Hochschule München

1. Teil

Die Empfangsstörung

Mit 56 Abbildungen



Berlin

Verlag von Julius Springer

1912

Stiftung des
Berliner Vereins für Luftschiffahrt, Berlin.

Zur Einführung¹⁾).

Mit früher nie gekannter Raschheit vollzieht sich in unseren Tagen der Entwicklungsgang neuartiger technischer Errungenschaften. Wenn dieses Tempo bereits bei den Problemen der elektrischen Lichtleitung und Kraftumformung, bei der Ausbildung des Fernsprechers und der Funkentelegraphie ein immer mehr beschleunigtes wurde, so gestaltete sich der Fortschritt zu einem geradezu stürmischen bei dem jüngsten, in mancher Hinsicht merkwürdigsten Kinde der schaffenden Technik, so recht dem eigentlichen Schoßkinde neuerer Zeit: der Luftfahrt. Mit angehaltenem Atem sieht der moderne Mensch auf diesem Gebiete Wunder zu Taten, Taten zu Alltäglichkeiten werden. So mußte alsbald auch ein überaus starkes Bedürfnis nach Belehrung über die Möglichkeiten und Bedingungen solch' einzigartiger Entwicklung, über Gegenwärtiges und künftig zu Erhoffendes sich überall fühlbar machen.

Solchem allgemeinen Bedürfnis nachzukommen, beeilen sich in allen Kulturländern, nicht am wenigsten sicherlich in Deutschland, vielfältige Veröffentlichungen wissenschaftlicher, technischer und populärer Natur, in Form von Buch und Abhandlung, als Zeitschrift und zwanglos erscheinender Beitrag. Zu diesen letzteren gesellt sich nunmehr in „Luftfahrt und Wissenschaft“ ein neues Unternehmen; die Herausgeber hoffen, daß es sich auch als *n e u a r t i g* erweisen werde.

Wir wollen weder über den täglichen Fortschritt auf dem weiten Gebiete der Luftfahrt berichten, noch für Systeme, Schulen oder Ansichten die Lanze brechen, noch agitatorisch wirken. Auch sollen nicht in diesen Blättern Ergebnisse niedergelegt werden von Forschungen, bei welchen die Luftfahrt zufälliges Mittel zum Zwecke ist, die sich aber wesentlich mit dem Studium der Physik oder der Chemie der Atmosphäre befassen. Den Herausgebern schwebte in erster Linie der Gedanke vor, daß es an der Zeit sei, heute, wo die Aeronautik — im weitesten Sinne — Berührungspunkte mit nahezu allen Wissenszweigen gewonnen hat, sich auf diesen Grenzgebieten umzusehen, und mindestens vorläufig durch berufene Federn festzustellen, was die älteren Schwestern zu dem Eindringling zu sagen haben, worin sie ihm zu Danke verpflichtet sind, wo sie im Gegenteile Dank beanspruchen können dafür, daß sie sich der neuen und eigenartigen Schwester zur Verfügung gestellt haben. Neben dem ganzen Heere der technischen und physikalischen Wissenschaften sollen Jurisprudenz und Physiologie, Astronomie und Lichtbildkunst,

¹⁾ Heft 1 entnommen.

die Erdkunde im allgemeinen, wie im besonderen Kolonial- und Polarforschung zu Worte kommen, und noch manch' anderer Wissenszweig. Außerdem aber hoffen die Herausgeber der Luftfahrt und der Wissenschaft zu dienen, wenn sie die Veröffentlichung von speziellen Untersuchungen ermöglichen, welche in Zeitschriften oft schon ihres Umfanges wegen gar nicht, oder zum Nachteile der Sache nur in stark gekürzter Form erscheinen können.

Gediegene Einzeldarstellungen dieser Art, von ernsten Forschern und Sachkennern herrührend, deren Leistungen nicht entschädigt werden sollen in Abhängigkeit von geschäftlichen Überlegungen, sondern durch hochherzige Sonderstifter der einzelnen Hefte, müßten sich — so hoffen wenigstens die Unterzeichneten, die an dem Unternehmen ein ausschließlich ideelles Interesse haben — neben all' dem Guten und Brauchbaren, das die Jetztzeit auf unserem Gebiete bereits bringt, immerhin als wertvoll erweisen. — A. B e r s o n.

Herausgeber und Schriftleitung.

Ein Verzeichnis der bereits erschienenen und der in Vorbereitung befindlichen Hefte findet sich am Schluß.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Gegenwärtiger Stand der drahtlosen Telegraphie	1
Äußere Störungen des drahtlos-telegraphischen Betriebes	1
Tatsache der Reichweitenänderung	2
Tatsache der Empfangsstörung	2
Erklärungsversuche der Reichweitenänderung	3
Ursachen der Empfangsstörung	4
Untersuchung des Grenzgebietes zwischen drahtloser Telegraphie und Lufterlektrizität. Nahversuche — Fernversuche	5 5

Nahversuche.

(Empfangsstörung.)

Lufterlektrische Tatsachen	7
1. Elektrostatisches Erdfeld	7
2. Ionisation, Leitfähigkeit	7
3. Vertikaler Leitungsstrom	8
4. Radioaktive Stoffe in der Atmosphäre	9
5. Hallwachseffekt	9
Disposition der Untersuchung	9
Beschreibung der Anlage	10
Lage der Versuchsstation	10
Maschinenraum, Werkstatt und Dunkelkammer	10
Hauptversuchsschuppen mit Sendern, Empfängern und Registrierraum.	12
Antennenmast	17
Ballonschuppen, Materialschuppen	19
Registrierschuppen, Arbeitsschuppen, zweiter Mast	20

Untersuchung.

I. Das elektrostatische Erdfeld in der Nachbarschaft der Antenne	24
Methoden zur Ermittlung des Feldverlaufes	24
Berechnung	24
Ausmessung mit Sondenballon	24
Ausmessung am Modell im künstlichen Feld	26
Schätzung	27
Antenne mit Ausgleich gegen Erde	27
Erdung statisch und bei Hochfrequenz	28
Linearantenne ohne Hochfrequenz; Methode 4	28
Linearantenne ohne Hochfrequenz; Methode 3	28
Linearantenne ohne Hochfrequenz; Methode 2	32
Ausgleichsstrom gegen Erde	33
Linearantenne mit Hochfrequenz	33
Schiffsantenne	36
Schirmantenne	36
Antenne mit Ausgleich gegen Atmosphäre.	36
Ballon- und Luftschiffantennen	39

	Seite
II. Leitfähigkeit der Luft in der Nachbarschaft einer Antenne	40
Niederschlag radioaktiver Substanzen auf Drähten	40
Methode	40
Beschreibung der Anordnung	41
Elektrometer	41
Spannungseichung	42
Kapazitätseichung	43
Eichung auf Ionenzahl	44
Ausspannen und Einholen des Drahtes	46
Konstanten des Hochfrequenzkreises	47
Untersuchung	48
Abklingkurven im Erdfeld und bei Hochfrequenz	48
Ionenbildungszahl und Leitfähigkeit in der Nähe der Oberfläche der Antenne	50
III. Die Strömungserscheinungen in der Antenne	52
Verschiedene Stromformen in der Antenne	52
Komponenten des Gleichstromes	52
Ausgleichsstrom	53
Kollektorstrom	53
Hallwachstrom	55
Gesamtstrom	55
Registrierung des Antennenstromes	56
Abhängigkeit des Kollektorstromes vom Potentialgefälle	57
Täglicher Gang des Antennengleichstromes	59
Hochfrequenzstrom	61
Meßanordnung	61
Abhängigkeit des Hochfrequenzstromes vom Potentialgefälle	62
IV. Strahlungsabsorption durch Aktivierung der Oszillatoren	63
Unterschied zwischen Oszillatoren im Freien und im Laboratorium	63
Untersuchung auf zeitliche Änderung der Reichweite	63
Versuchsanordnung	64
Ergebnisse	64
Untersuchung auf Energieabsorption durch Aktivierung	65
1. Im Erdfeld aktivierte Antennen	65
2. Im Erdfeld aktivierte kleine Oszillatoren	66
3. Künstlich polonisierte kleine Oszillatoren	66
V. Schutzvorrichtung	67
Mechanismus der Empfangsstörung	67
Möglichkeit und Prinzip einer Schutzvorrichtung	68
Schema eines Antennenschutzes an verschiedenen Antennen	69
Beschreibung eines ausgeführten Schutzes	70
Meßanordnung	70
Ergebnisse	70
Schluß	72
Zusammenfassung	73

Einleitung.

Gegenwärtiger Stand der drahtlosen Telegraphie.

Seit 1896 Marconi auf Heinrich Hertz und Branly fußend, die ersten drahtlos telegraphischen Versuche anstellte und Braun 1898 bahnbrechend die geschlossenen Kondensatorkreise in die Technik der drahtlosen Telegraphie einführte, haben Physiker und Ingenieure aller Nationen an dem Ausbau dieser Erfindung tätigen Anteil genommen.

Ungemein zahlreiche theoretische und praktische Arbeiten¹⁾ haben dazu beigetragen, die Methoden zur Erzeugung schneller Schwingungen zu verbessern, die allgemeinen Kenntnisse über die Gesetze und Konstanten der Hochfrequenzströme zu erweitern, die Meßverfahren zu vervollkommen und geeigneteren Vorrichtungen zum Nachweis schwacher Hochfrequenzströme herzustellen.

Die bisherigen Ergebnisse dieser Untersuchungen kommen praktisch zum Ausdruck in den relativ großen Reichweiten der drahtlos-telegraphischen Stationen, in der Störungsfreiheit, mit der zahlreiche benachbarte Stationen gleichzeitig verkehren können, in den Erfolgen mit gerichteten Stationen und dem erheblich gesteigerten ökonomischen Wirkungsgrad.

Äußere Störungen des drahtlos-telegraphischen Betriebes.

Während es so gelungen ist, sehr bemerkenswerte Fortschritte hinsichtlich der Konstruktion günstig arbeitender Stationsapparate zu erzielen, blieben andererseits Erscheinungen und Vorgänge, die sich außerhalb der eigentlichen Stationsanlagen abspielen, die aber auf das ordnungsmäßige Arbeiten der Stationsanordnungen von Einfluß sind, verhältnismäßig wenig untersucht.

Die Tatsache, daß die für die Ausbreitung der Wellen erforderlichen Luftleitergebilde von einer den mannigfachsten Einflüssen unterliegenden Atmosphäre begrenzt werden, daß bei der Ausbreitung der Wellen eben diese Atmosphäre und die örtlich und zeitlich wechselnde Beschaffenheit der Erdoberfläche eine Rolle spielen, läßt allerdings das Auftreten einer Reihe besonderer Nebenerscheinungen in der Praxis der drahtlosen Telegraphie schon von vornherein erwarten.

Zwei durch derartige äußere Ursachen bedingte Erscheinungen haben in der drahtlos-telegraphischen Praxis eine wesentliche Bedeutung.

¹⁾ Eine erschöpfende Zusammenstellung dieser Literatur bis zum Jahre 1905 findet sich bei E. Nesper „Die drahtlose Telegraphie“ (Berlin 1905), sowie fortlaufend im „Jahrbuch für drahtlose Telegraphie.“

Tatsache der Reichweitenänderung.

Die erste dieser Erscheinungen äußert sich darin, daß die Fernwirkung ein und derselben Sendestation sehr erhebliche zeitliche Wechsel aufweisen kann, obwohl mit ungeänderter Primärenergie Wellenlänge und Stationsanlage gegeben wird. Die Zone also, auf der eine bestimmte durch ihre Antenne und Detektorempfindlichkeit charakterisierte Empfangsstation noch gerade Zeichen der Sendestation wahrnehmen kann, besitzt einen sehr verschiedenen Abstand vom Sender. Diese Erscheinung wurde schon sehr früh bemerkt und ist in zahlreichen Mitteilungen in der Tagespresse erwähnt. So konstatierte namentlich Marconi¹⁾ einen deutlichen Unterschied der Reichweite seiner Stationen bei Tag und Nacht; nachts gelang die Übertragung oft über das doppelte besser. Auch nach langer Trockenheit und kräftiger Sonnenstrahlung ist von mehreren Seiten eine Abnahme der Reichweite beobachtet worden²⁾. Dieser Erscheinung, die im folgenden stets kurz als Reichweitenänderung bezeichnet werde, begegnet die Praxis dadurch, daß sie entweder überkonstruierte Stationen benützt, damit auch bei schlechter Übertragung die Gegenstation sicher erreicht wird³⁾, oder daß sie bei sehr weit entfernten Gegenstationen zur Telegrammübermittlung diejenigen Stunden wählt, in denen erfahrungsgemäß die Übertragung am kräftigsten gelingt.

Tatsache der Empfangsstörung.

Die zweite Erscheinung ist die, daß die Empfangsanordnungen einer Station bisweilen betätigt werden, auch wenn die Antenne dieser Station nicht von den elektromagnetischen Wellen einer Gegenstation getroffen wird.

Besteht beispielsweise das Empfangsorgan aus einem Kohärer, der in der üblichen Weise mit einem Klopfer und Morseapparat verbunden ist, so verzeichnet der Morseapparat plötzlich Punkte, Punktfolgen, kurze und längere Striche, die nicht selten eine gewisse Ähnlichkeit mit Morseschrift zeigen, aber nachweislich von keiner Gegenstation herrühren. Die einlaufenden Telegramme können durch diese Störungen bis zur Unleserlichkeit entstellt werden.

Arbeitet die Empfangsstation mit einem Hörempfänger, so äußert sich die Empfangsstörung durch einen rauschenden Ton im Telephonhörer. Man kann den Charakter des Geräusches am besten etwa so künstlich nachahmen, daß man auf der Membran eines Körnermikrophones das mit einigen Elementen und einem Telephonhörer in Serie geschaltet ist, mit einem feinen Pinselchen leiser und energischer hin- und herfährt.

Arbeitet die Gegenstation mit tönenden Funken so gelingt es, wenn die Empfangsstörung nicht zu stark ist, dem geübten Ohre leicht, den musikalischen Klang der Zeichen bei loser Koppelung aus dem sonstigen Rauschen herauszuhören.

¹⁾ G. Marconi, *Electrician* 49, 521, 1902; 54, 824, 1905. Weitere Literatur bei J. Zenneck, *Leitfaden der drahtlosen Telegraphie* 368, 119, 1909.

²⁾ Eichhorn, *Drahtlose Telegraphie* 1904.

³⁾ Telefunken arbeitet mit einem Sicherheitsfaktor von etwa dem Werte 3. K. Solff, *Elektrotechnische Zeitschrift* 896, 1906.

Übertrifft aber die Lautstärke der Störung die Stärke der Signale um mehr als das Zehnfache, dann ist es unmöglich, die Nachricht zu empfangen, obwohl an sich die Stärke der Zeichen für den Empfang ausreichen könnte.

In Deutschland ist diese Störung namentlich bei nicht sehr hohen Antennen, oft sehr gering und verhältnismäßig selten so stark, daß man bei loser Koppelung nicht doch, wenn auch mühsam, empfangen könnte. Beim Einschalten des Empfängers, bei plötzlichen Veränderungen der Stellung des Abstimmkondensators kann man das Geräusch wohl stets wahrnehmen. Sein Auftreten gibt dem Telegraphisten sogar das sichere Gefühl der Empfangsbereitschaft.

In anderen Ländern scheint die Störung z. T. stärker zu sein. So verdanke ich der russischen Vertretung der Firma Siemens & Halske die Mitteilung, daß die dortigen Stationen oft nur durch wenige Stunden am Tage empfangen können.

In den Tropen ist es scheinbar noch erheblich stärker. Die in Duala 1909 errichtete Antenne mußte niedergelegt werden, da oftmals über einen Zeitraum von mehr als 24 Stunden keine Empfangsmöglichkeit bestand.

Eine bestimmte Periode der Störungshäufigkeit ist ohne weiteres nicht erkennbar. Die Ursache der Empfangsstörung wurde von Anfang an in der „Luftelektrizität“ gesehen. Die Benutzung speziell des Kohärers in Verbindung mit einem Luftleiter durch Popoff¹⁾ als eines Apparates zur Gewitterregistrierung ist ja sogar älter als die Benutzung des Kohärers durch Marconi für drahtlos-telegraphische Zwecke.

Der Mechanismus bei der Erscheinungen, der Reichweitenänderung sowohl als der Empfangsstörung ist bis jetzt von keiner Seite völlig klargelegt worden.

Erklärungsversuche der Reichweitenänderung.

Was zunächst unsere Kenntnis von der Ausbreitung der drahtlos-telegraphischen Wellen anbetrifft, die ja die erste unserer Erscheinungen in sich begreifen müßte, so reicht sie nicht aus, theoretisch den Betrag der Reichweitenänderung auf Grund der bisherigen experimentellen Daten zu erklären. M. Abraham²⁾ hat im Anschluß an Maxwell und Hertz als erster eine Theorie der Ausbreitung der drahtlos-telegraphischen Wellen angegeben; er nimmt dabei die Erde als idealen Leiter, die Luft als ideales Dielektrikum an. Diese Theorie wurde dann, da sie auch hinsichtlich der Wirkungsweise gerichteter Stationen kein ganz hinreichendes Bild der tatsächlich beobachteten Erscheinungen bot, Stufe für Stufe durch Berücksichtigung des Einflusses der elektrischen Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstanten, des Bodens und der Atmosphäre bei den verwendeten Wellenlängen erweitert. Besonders bemerkenswerte theoretische Beiträge lieferten in dieser Richtung Uller³⁾ Zenneck⁴⁾ und Sommerfeld⁵⁾, aber,

¹⁾ Popoff, Deutsches Referat in Fortschr. d. Physik 2, 387, 1896.

²⁾ M. Abraham, Physikal. Zeitschr. 2, 329, 1901. Theorie der Elektrizität 2, § 34 und Enz. d. math. Wissensch. V. Art. 18.

³⁾ K. Uller, Beiträge zur Theorie der elektromagnet. Strahlung, Rostock 1903.

⁴⁾ J. Zenneck, Anm. d. Phys. 23, 846, 1907. Physik. Zeitschr. 9, 50 und 553, 1908.

⁵⁾ A. Sommerfeld, Anm. d. Phys. 28, 665, 1909. Jahrb. der drahtlosen Telegraphie 4, 157, 1910.

wie schon bemerkt, werden die erheblichen Unterschiede in der Reichweite bei Tag und Nacht durch die Theorie auf Grund der sonst angenommenen Daten nicht gefordert.

Es herrscht offenbar in diesem Punkte ein Mangel an einschlägigen experimentellen Untersuchungen, der auch durch einige englische Beobachtungen nicht behoben erscheint. Der Praktiker muß sich bis heute mit Hypothesen begnügen. Während Marconi¹⁾ diesen Unterschied auf eine Energieabsorption in der durch ultraviolettes Licht kräftig ionisierten Atmosphäre sucht, glaubt Zenneck²⁾ auch die Ansicht anführen zu sollen daß weniger die Absorption im Zwischenmittel als vielmehr die Verhältnisse in unmittelbarer Nachbarschaft der Antennen, speziell eine durch das Sonnenlicht begünstigte Entladung, Ursache dieser Erscheinung sein könne. Doch betont auch gerade er den hypothetischen Charakter der vorliegenden Versuche, die Ursache der Reichweitenänderung zu erklären.

Ursache der Empfangsstörung.

Erheblich besser scheint es um die Beantwortung der Frage nach der Ursache der zweiten Erscheinung, der Empfangsstörung, zu stehen; sie muß, wie schon eingangs gesagt „luftelektrischen“ Ursprungs sein. Bei gewissen Wetterlagen kann man aus einer leidlich isolierten Empfangsantenne, gerade so wie Franklin aus seinem Drachenkabel, mehr oder weniger lange Funken gegen Erde ziehen. Vor Schneefall, vor und nach einem Gewitter (während eines Gewitters wird man die Antenne der Blitzgefahr wegen möglichst direkt geerdet halten), bisweilen auch ohne äußerlich ersichtliche Begleiterscheinungen beginnt die Antenne und die mit ihr verbundenen Metallteile zu sprühen. Es treten Büschelentladungen auf, und wenn die Erscheinung kräftig genug ist, starke Funkenentladungen gegen benachbarte geerdete Leiter. Diese Erscheinungen sind offensichtlich luftelektrischer Natur und gerade zu den Zeiten, an denen sie abnorm groß sind, ist auch die Empfangsstörung besonders lästig³⁾. Der Praktiker sagt so auch stets: „Es ist viel Luftelektrizität da“. Die meisten Vorschläge (namentlich von Marconi) zur Verringerung der Empfangsstörung gehen dahin, einmal sehr lose mit der Antenne gekoppelte Detektorkreise zu benutzen und die Antenne derart in einem Spannungsknoten an Erde zu legen, daß die Luftelektrizität ohne die Empfangsapparate zu passieren, abfließen kann. Ein Amerikaner Greenleaf Whistler Pickard⁴⁾ gibt auch ein System an, die einzelnen Leiter des Luftdrahtgebildes durch eine Reihe von diesen parallel geführten schwingungsfähigen geerdeten Leitern, wie in einem Faradayschen Käfig einzuschließen. Da die Mitteilungen über die Empfangsstörungen nicht verstummt sind, ist anzunehmen, daß diese Mittel nicht zu ihrer Beseitigung ausreichen. Eine eingehendere experimentelle Untersuchung, welche die Kenntnisse über den Mechanismus der Empfangsstörung erweitert hätte, liegt meines Wissens nicht vor.

¹⁾ G. Marconi, Electrician 49, 521, 1902.

²⁾ J. Zenneck, Leitfaden der drahtl. Telegraphie 1909.

³⁾ Flaskamp, Tätigkeit der beiden funkentelegraphischen Abteilungen in Südwestafrika 1904—1907. Berlin 1910.

⁴⁾ G. W. Pickard, Amerikanische Patentschrift 842 910.

Untersuchung des Grenzgebietes zwischen drahtloser Telegraphie und Luftelektrizität.

Da es sich nun hier bestimmt im ersten Falle nicht unwahrscheinlich um Erscheinungen handelt, die durch die atmosphärische Elektrizität bedingt werden, und gerade dieses Gebiet in den Entwicklungsjahren der drahtlosen Telegraphie infolge der radioaktiven Entdeckungen bemerkenswerte Fortschritte gemacht hat, so scheint es nicht unfruchtbar zu sein, das Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Luftelektrizität zum Gegenstand einer experimentellen Untersuchung zu machen. Ein wesentliches Moment für die Möglichkeit einer Klärung der einschlägigen Fragen läßt sich ferner in der Tatsache erblicken, daß sich drahtlostelegraphische Einrichtungen auf Luftfahrzeugen gut bewähren. Während allerdings für die Praxis der Luftschiffahrt und Motorluftschiffahrt die Bedeutung der Empfangsstörung und Reichweitenänderung selbst von nur ganz untergeordneter Bedeutung ist, erscheint umgekehrt die Beteiligung der Luftschiffahrt wenigstens für die Erforschung der Reichweitenänderung außerordentlich wertvoll zu sein. Ein mit quantitativ arbeitendem Empfänger ausgerüstetes Motorluftschiff bietet ein neues bisher unbekanntes experimentelles Hilfsmittel, den Charakter der Strahlung einer Station nicht nur in den verschiedenen Azimuten, sondern auch bis zu gewissem Grade in verschiedenen Elevationen mit stets identischer Anordnung festzustellen. Dieser Umstand kann zu einer einwandfreieren quantitativen Definition der Stärke einer bestimmten Sendestation unter gegebenen Verhältnissen führen und damit zu einem besseren zahlenmäßigen Vergleich mehrerer Stationen untereinander.

Alle diese Überlegungen weisen darauf hin, daß eine systematische Darstellung und Untersuchung die Beteiligung atmosphärisch-elektrischer Vorgänge, speziell bei den beiden angeführten drahtlos-telegraphischen Erscheinungen, in einigen Punkten wenigstens wird klären können.

Bei der Inangriffnahme der eigentlichen Messungen und Beobachtungen erschien es zweckmäßig, zunächst eine Scheidung nach dem Sitz der fraglichen Störungsvorgänge vorzunehmen.

Die Erscheinungen der Reichweitenänderung und der Empfangsstörung müssen entweder

- in Vorgängen in unmittelbarer Nähe der Antennen ihre Ursache haben
- oder
- sie können in einer Veränderung der Eigenschaften des Zwischenmittels Atmosphäre und Erdkörper begründet sein.

Durch diese Scheidung ergibt sich eine Unterteilung der Versuche in:

- A. Nahversuche, bei denen namentlich alle Erscheinungen in den Antennenleitungen selbst in der allernächsten Umgebung der Antennenleiter und zwischen sehr nahe benachbarten Stationen, also unter möglichstem Ausschluß der Einwirkungen des Zwischenmittels beobachtet werden kann, und
- B. Fernversuche, bei denen nach Möglichkeit unter Benutzung und Reduzierung auch fremden Beobachtungsmaterials mit hinreichend entfernten

Stationen am Erdboden und in der Luft der Einfluß des Zwischenmittels festgestellt werden kann.

Die vorliegende Arbeit enthält die Ergebnisse des ersten Teiles (A) dieser zwischen Frühjahr 1909 und Frühjahr 1911 in Gräfelfing angestellten Experimentaluntersuchung ¹⁾.

Da es sich bei diesen Versuchen als gewiß herausstellte, daß die Vorgänge in der unmittelbaren Nachbarschaft der Antenne im wesentlichen nur für die Empfangsstörung maßgebend sind und auf die Reichweitenänderung praktisch einflußlos bleiben, so ist dieser Teil der Untersuchung unter dem Titel „Empfangsstörung“ mitgeteilt.

Die experimentellen Vorarbeiten für die Untersuchung (B) wurden im Oktober 1910 begonnen. Durch das Entgegenkommen der K. B. meteorologischen Zentralstation ließ es sich ermöglichen, daß sehr exponiert, also für Untersuchungen dieser Art gerade recht günstig gelegene Zugspitzobservatorium als Fernstation zu erhalten. Die am 21. Oktober 1910 angestellten Probeversuche ergaben guten Signalempfang von Gräfelfing (ca. 85 km) und Norddeich (700 km). Hinsichtlich der Reduktion von Stationsstärken gab eine Probefahrt auf dem Zeppelinluftschiff „Schwaben“ die Gewähr, daß sich quantitativ auf einem Luftfahrzeug empfangen läßt. Der definitive Beginn der experimentellen Arbeiten erfolgte im Herbst 1911 und das Material soll nach Abschluß der Registrierungen und Prüfung der sonstigen Beobachtungen gegen Frühjahr 1913 als zweiter Teil der Gesamtarbeit veröffentlicht werden.

¹⁾ Literatur konnte im allgemeinen auch nur bis zu diesem Zeitpunkt berücksichtigt werden (Anm. bei der Korrektur).

Nahversuche (Empfangsstörung).

Luftelektrische Tatsachen.

1. Elektrostatisches Erdfeld.

Die luftelektrischen Erscheinungen, die für eine drahtlos telegraphische Station mit ihrem Luftleitergebilde von Einfluß sein können, dürften im wesentlichen in folgenden Tatsachen bestehen.

In den unteren Kilometern der Atmosphäre besteht ein elektrostatisches Feld. Die Erde erscheint bis auf seltene Ausnahmen negativ elektrisch geladen gegenüber der Atmosphäre. Die Richtung der elektrischen Kraftlinien steht im allgemeinen senkrecht zur Erdoberfläche, fällt also mit der Lotlinie zusammen. Die die Kraftlinien überall senkrecht schneidenden Niveauflächen gleichen Potentials oder Äquipotentialflächen verlaufen demnach im allgemeinen parallel zum Erdboden. Der Spannungsunterschied pro Meter Erhebung wird als das Potentialgefälle bezeichnet. Der Wert des Potentialgefälles in der Nähe des Bodens ist im Sommer ca. 100 Volt/Meter, im Winter 300 Volt/Meter und ändert sich mit der Höhe nur um an dieser Stelle zu vernachlässigende Beträge. Er unterliegt periodischen täglichen und jährlichen Schwankungen und zeitweisen Störungen. Da die Potentialflächen nach Möglichkeit die Unebenheiten des Bodens auszugleichen suchen (vgl. Skizze 1) und sich über Erhebungen zusammendrängen, über Senkungen größere Abstände haben als in der Ebene, so sind hier die Werte des Potentialgefälles größer resp. kleiner als in der Ebene.

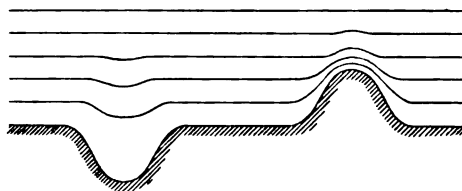


Abb. 1. Potentialflächen über Hebungen und Senkungen.

2. Ionisation, Leitfähigkeit.

Die Luft besitzt elektrische Leitfähigkeit. Von den an sich elektrisch-neutralen Gasmolekülen wird durch äußere Ursachen ein Bruchteil durch Abspaltung des elektrischen Elementarquantums zu positiven Ionen, während die freien negativen Ladungen, die Elektronen, allein oder nach Anlagerung an ein neutrales Molekül als negative Ionen bezeichnet werden. Unter dem Einfluß

des elektrostatischen Feldes wandern diese Ionen mit einer spezifischen Wandergeschwindigkeit und transportieren so ihre Ladungen. Die hierdurch auftretende Leitfähigkeit λ ergibt sich als

$$\lambda = \varepsilon \left(n^+ v^+ + n^- v^- \right) \text{ st. E.},$$

worin n die Zahl der Ionen pro cm^3 angibt, je nach dem Index positiven oder negativen Vorzeichens; v entsprechend die spezifische Geschwindigkeit, also die Geschwindigkeit in $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ bei einem Gefälle von $\frac{1 \text{ st. E.}}{\text{cm}}$ und ε die Ladung des Elementarquantums bedeutet.

ε besitzt den Wert von etwa $4,7 \times 10^{-10}$ st. E. Die Zahl der beweglichen Ionen in den unteren Metern der Atmosphäre n^+ und n^- beträgt ca. je 1000, wobei aber n^+ im allgemeinen etwas größer ist als n^- . Die spezifische Geschwindigkeit v^+ und v^- ist, von der der sehr trägen sogenannten Molionen abgesehen, der Größenordnung nach $1 \frac{\text{cm/sec}}{\text{Volt/cm}}$ oder hat bei Einführung der elektrostatischen Spannungseinheiten rund den Wert 300 (im allgemeinen ist v^- größer als v^+). Daraus berechnet sich der Betrag der Leitfähigkeit seiner Größenordnung nach als

$$\lambda = 4,7 (1000 \cdot 300 + 1000 \cdot 300) \cdot 10^{-10} \\ \sim 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ st. E.}$$

Treffen entgegengesetzt geladenen Ionen zusammen, so erfolgt Wiedervereinigung und Neutralisation. Besteht in einem Luftvolumen, das gleichviel positive und negative Ionen enthalten möge, ein stationärer Zustand, d. h. ist die Zahl der pro sec neugebildeten Ionen gerade so groß wie die Zahl der durch Wiedervereinigung verschwindenden, so besteht die Beziehung

$$n = \sqrt{\frac{q}{\alpha}},$$

wobei q die Ionisierungsstärke und α den Koeffizienten der Wiedervereinigung bedeutet.

3. Vertikaler Leitungsstrom.

Unter dem Einfluß des atmosphärischen Potentialgefälles und der Leitfähigkeit der Luft entsteht in der Atmosphäre eine elektrische Strömung. Positive Elektrizität fließt, entsprechend der Richtung des Gefälles, aus der Atmosphäre gegen Erde. Die Stromstärken sind relativ klein. Bei einem Potentialgefälle von 100 Volt/Meter oder $\frac{1}{300} \frac{\text{st. E.}}{\text{cm}}$ und einer Leitfähigkeit von $\lambda = 3 \cdot 10^{-4}$ st. E. wird ein Strom i auftreten von

$$i = 3 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{300} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ st. E.}$$

oder in elektromagnetischem Maß von $3,3 \cdot 10^{-16} \frac{\text{Ampere}}{\text{cm}^2}$. Man bezeichnet diesen Strom als den vertikalen Leitungsstrom.

4. Radioaktive Stoffe in der Atmosphäre.

Als Ursache der Ionisation der Atmosphäre kommt bis zu einem gewissen Betrage der Gehalt der Luft an radioaktiven Substanzen in Frage. Die im Erdboden verbreiteten radioaktiven Stoffe: Radium, Thorium und Aktinium entwickeln gasförmige radioaktive Emanationen, die sich in der Atmosphäre verbreiten und in die radioaktiven Induktionen umwandeln. Die Aktiniumemanation spielt wegen ihrer Kurzlebigkeit (Halbwertszeit 3,9 sec.) nur eine untergeordnete Rolle. Diese Induktionen müssen sich bis zu einem gewissen Betrage (Ra A, Th A) wie positive Ionen verhalten, wenigstens lassen sie sich auf negativ geladenen Leitern niederschlagen und anreichern.

5. Hallwachseffekt.

Endlich sei als bemerkenswerte Tatsache noch der Hallwachseffekt aufgeführt, der bekanntlich darin besteht, daß zahlreiche Metalle — und auch andere Körper — unter dem Einfluß des Lichtes eine negative Ladung mehr oder weniger rasch verlieren.

Disposition der Untersuchung.

Auf Grund dieser Tatsachen gliedert sich die eigentliche Untersuchung zunächst in die folgenden Teiluntersuchungen.

- I. Wie stören die verschiedenen Antennengebilde das elektrostatische Erdfeld? Welche Spannungsgefälle herrschen in der Nachbarschaft der einzelnen Teile der Antenne?
- II. Welche Leitfähigkeit hat die Luft in der Nachbarschaft der Antenne? Diese Leitfähigkeit muß wegen der auf den Antennendrähten niedergeschlagenen radioaktiven Induktionen größer als die normale sein. (Dieser Teil der Experimentaluntersuchung wurde von Herrn Kandidaten Kernstock selbständig ausgeführt).
- III. In welchem Betrage dient das Luftleitergebilde dazu, den vertikalen Leitungsstrom zu führen? Wie groß sind die gegen Erde gerichteten Stromstärken und wie hängen sie von I und II ab?
- IV. Verursachen die aktiven Niederschläge von II oder der Hallwachseffekt eine Energie-Absorption?

Wie schon in der vorläufigen Mitteilung über die drahtlos-telegraphische Empfangsstörung erwähnt wurde¹⁾ ließen die bis dahin gefundenen Versuchsergebnisse es als aussichtsvoll erscheinen, eine Schutzvorrichtung gegen die Empfangsstörung an der Antenne auszubilden. Es bezieht sich also ein fünfter und letzter Teil auf die

- V. experimentelle Untersuchung eines Antennenschutzsystemes.

Da die gesamte Untersuchung nach Möglichkeit den tatsächlichen praktischen Verhältnissen der drahtlosen Telegraphie Rechnung tragen sollte, so wurde der Ver-

¹⁾ Dieckmann, Funkentelegr. Empfangsstörung, Sitzungsber. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissenschaften. Math. Physik. Klasse, Jahrg. 1910, 7. Abh.

suchsaufbau tunlichst ohne Maßstabsverkleinerungen ausgeführt. Die sich hieraus ergebende Anlage erforderte bei der Aufstellung und Instandhaltung mancherlei Geduldproben und viele größere und kleinere technische Nebenarbeiten, zumal zahlreiche Apparate nicht fertig bezogen sondern aus Ersparnisgründen erst in den

Werkstätten des Physikalischen Institutes der technischen Hochschule hergestellt und dann an Ort und Stelle in Gang gebracht werden mußten. Wo es irgend anging, wurden die Meßverfahren automatisch registrierend eingerichtet. Es hat sich nicht vermeiden lassen, daß diese erste Darstellung und Untersuchung an vielen Stellen mehr quantitativ geblieben ist und daß mehrere Punkte eine eingehendere Nachprüfung auch von anderer Seite wünschenswert machen.

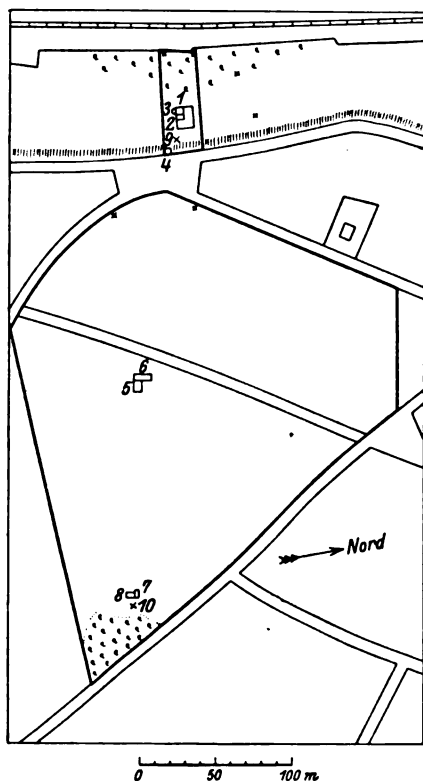


Abb. 2. Situationsplan.

Beschreibung der Anlage.

Lage der Versuchsstation.

Der Versuchsaufbau wurde im wesentlichen im Frühjahr und Sommer 1909 etwa 10 km südlich von München bei Gräfelfing fertiggestellt. Der Ort Gräfelfing liegt in dem hier über 2 km breiten, ebenen, von nur wenige Meter hohen Böschungen begrenzten Würmtal. In der unmittelbaren Nähe eines auf dem westlichen Hang gelegenen dem Verfasser gehörigen Anwesens von ca. 1600 m² wurde eine völlig ebene Wiese von ca. 19 000 m² gepachtet. Der Situationsplan der Anlage ist aus Abbildung 2 zu erkennen. Zur Unterbringung der verschiedenen Anordnungen und Hilfsmittel wurden außer 3 kleinen Souterrainräumen (1, 2 und 3) des erwähnten Anwesens an der Bergstraße fünf Hilfsschuppen (4, 5, 6, 7 und 8) und zwei große (9 und 10) sowie mehrere kleinere Holzmasten zur Befestigung der Luftdrahtgebilde aufgestellt.

Maschinenraum, Werkstatt und Dunkelkammer.

Das Gelaß 1 (vgl. Abb. 3) enthält den Maschinenraum. Da nur Dreiphasenstrom von 110 Volt Spannung, die dem Grundstück durch ein im Boden verlegtes Kabel zugeleitet werden, zur Verfügung steht, ist eine kleine Umformieranlage bestehend aus einem Drehstrommotor von 2 PS einer Gleichstromdynamo nebst Schaltbrett aufgestellt. Die Gleichstrommaschine liefert entweder 220 Volt Spannung oder sie kann mit geringerer Tourenzahl laufend zum Aufladen einer Akkumulatoren-batterie benützt werden. Die stationäre Akkumulatorenbatterie steht in einem

mit besonderem Entlüfter versehenen Schrank und umfaßt 12 Zellen von 54 Ampere-stunden bei 18 Ampere maximaler Entladung. An diesem Schrank befindet sich auch die Ladevorrichtung für die sonst benötigten transportablen, in tragbaren Holzkästen montierten, Zellen.

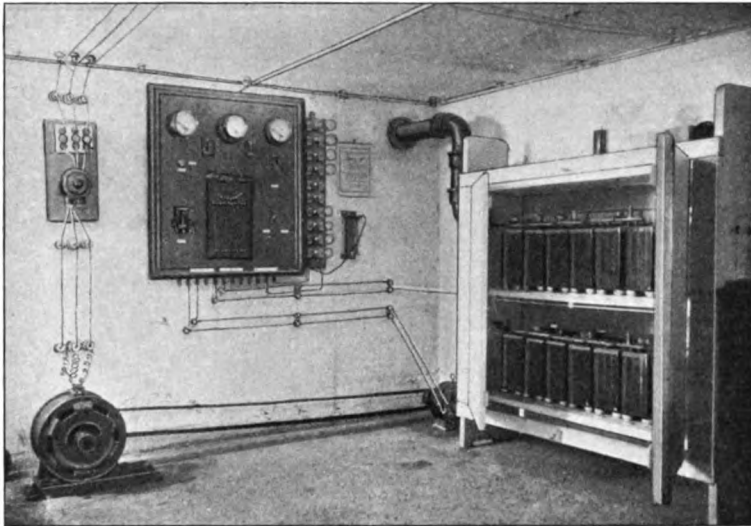


Abb. 3. Maschinenraum.

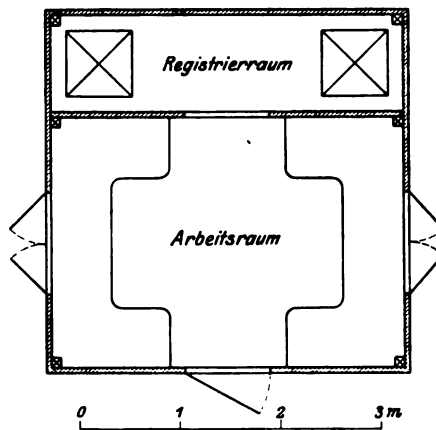


Abb. 4. Grundriß von Schuppen 4.

Der anstoßende Raum 2 enthält die kleine Werkstatt. Er ist ausgerüstet mit einer Hobelbank, Drehbank, einem Werkzeugschrank und den zur Anfertigung kleinerer mechanischer Arbeiten notwendigen Werkzeugen und Materialien.

In dem Räume 3 endlich ist die photographische Dunkelkammer untergebracht. Sie ist, da ein wesentlicher Teil der Untersuchungsergebnisse durch photographische Registrierungen gewonnen wurde, möglichst bequem eingerichtet.

Hauptversuchsschuppen mit Sendern, Empfängern und Registrierraum.

Vom Maschinenraum aus führen 8 Freileitungen zu dem Holzschuppen 4. Er liegt am Fuße des etwa 7 m hohen Hanges, auf dem das Anwesen steht und enthält den Hauptuntersuchungsraum. Wie die Grundrißskizze Abb. 4 erkennen läßt, ist er an den Wänden rings mit Holztischen versehen; eine durch lichtdichten Doppelvorhang geschlossene Tür führt in den verdunkelten Registrierraum. An den

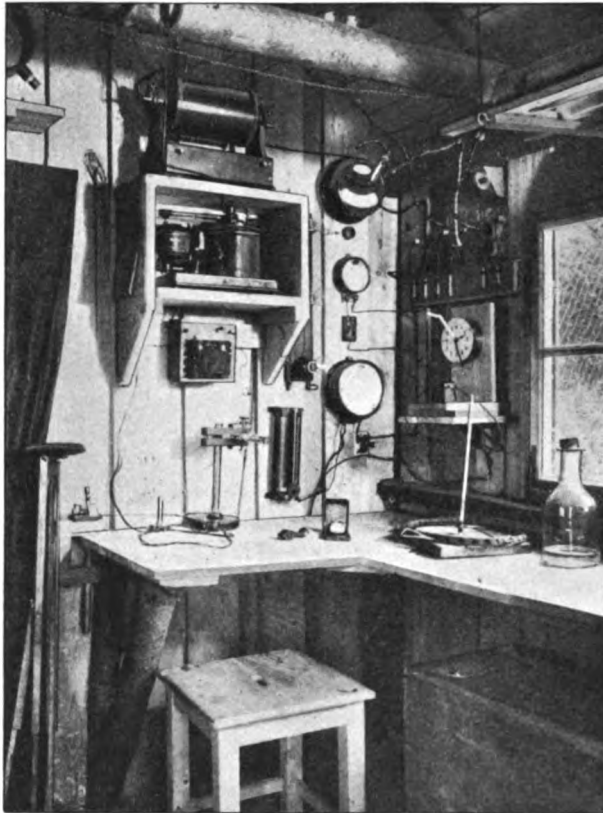


Abb. 5. Turbine, Induktor u. Kontaktuhr.

Wänden und an der Decke des Hauptraumes sind, zum Teil fest montiert, zwei komplette drahtlostelegraphische Sendeanordnungen nach Braun und Wien sowie drei komplette Empfangsanordnungen aufgestellt. Die Abbildungen 5 bis 8 geben die einzelnen Apparate wieder.

Die Sendeanordnungen nach Braun (Skizze 9) arbeitet mit 24 Volt Gleichstrom. Der Akkumulatorenstrom wird durch eine mit Wechselstrommotor betriebene AEG-Quecksilberturbine unterbrochen und einem Klingelfußschen Induktorium von 15 cm Schlagweite zugeführt. Die Sekundärklemmen des Induktors stehen mit der Zinkkugelfunkenstrecke eines geschlossenen Schwingungskreises

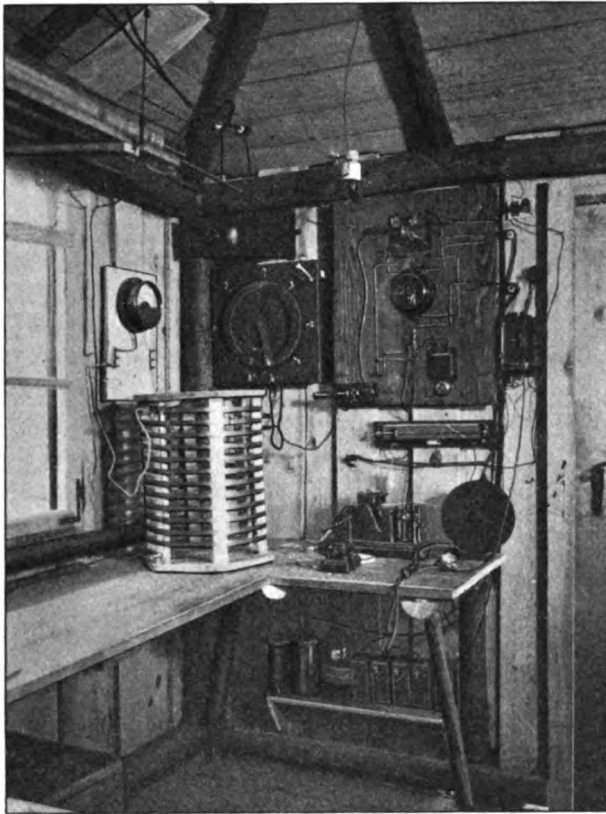


Abb. 6. Kleine Sende- u. Empfangsanordnung.

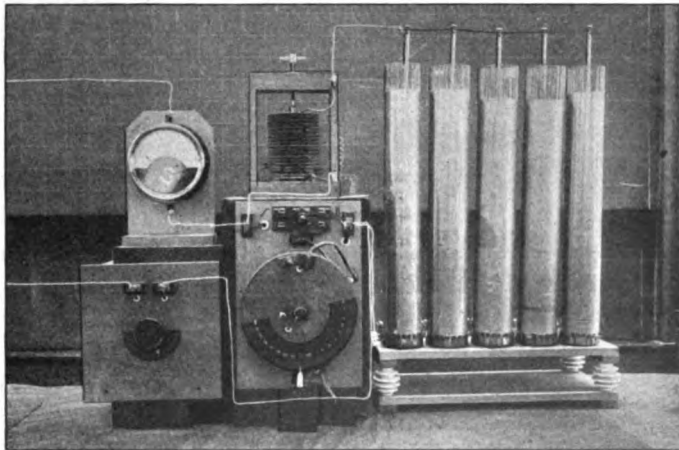


Abb. 7. Sender für Stoßerregung.

in Verbindung, der aus zwei in Serie geschalteten auf einem Deckengestell befestigten Leydener Flaschen von je 5000 cm Kapazität und einer bis 35 000 cm beliebig stöpselbaren Selbstinduktionsspule, die gleichzeitig zur direkten Koppelung auf die Antenne dient, gebildet wird. In der Antennenleitung liegt noch eine stetig variable toroidförmige Verlängerungsspule, und gegen Erde ein Hartmann- und Braunsch'sches Hitzdrahtwattmeter. Die Sendeanordnung arbeitet im allgemeinen mit einer Primärenergie von nur 160 bis 170 Watt. Der Strom zum Induktor kann entweder durch einen Morsetaster oder, für Registrierbetrieb, durch eine Kontaktuhr geschlossen werden. Die letztere ist so eingerichtet, daß alle halbe oder volle Stunden zwei mit dem Stundenzeiger verbundene Platinstreifen ca. 2 Minuten lang zwischen zwei mit Quecksilber gefüllten Rinnen, an denen die Zuleitungsdrähte liegen, Verbindungen herstellen¹⁾. Die in die Antenne gehende Energie kann mit einer an anderer Stelle beschriebenen Anordnung registriert werden.

Die Schaltskizze 10 zeigt die andere und bedeutend stärkere Sendestation, die in zahlreichen Einzelheiten den mit Wienscher Stoßerregung arbeitenden tönenden Funkenstationen der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie²⁾ nachgebildet ist. Als Primärenergie dienen zwei Phasen des Drehstromes. Mit Hilfe eines im Registrierraum untergebrachten Lahmeyerschen Transformators für 7 KW



Abb. 8. Empfänger mit Fritter- u. Schloemilchzelle.

kann die Spannung auf 9000 Volt hinauftransformiert werden. Als Funkenstrecke dient eine Serienfunkenstrecke mit Kupferelektroden, die durch Glimmerringe von je 0,2 mm Stärke getrennt werden. Zur Vermeidung von Gleitfunkenbildung sind die Platten, dort wo der Glimmerrand eine Brücke bilden würde, rinnenförmig ausgedreht. Die Kupferplatten werden durch größere Messingplatten luftgekühlt. Durch federnde Messingbügel kann eine beliebige Anzahl der Funkenstrecken kurzgeschlossen werden. Auch diese Funkenstrecke schließt sich an die von der Gesell-

¹⁾ Ebert und Kurz, Abhandl. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissensch., XXV. Bd., 2. Abh., 13, 1909.

²⁾ Graf Arco, Elektrotechn. Zeitschr., Heft 23 u. 24, 1909.

schaft für drahtlose Telegraphie ausgearbeiteten Anordnung strenge an. Der Stoßkreis besteht aus einer Batterie von maximal 8 parallel geschalteten Leydener Flaschen und einem Variometer, das die Rhendalsche Konstruktion nachahmt. Die Felder von 4 aus Kupferband hergestellten Spulen, von denen je zwei ähnlich einer 8 angeordnet sind, können so übereinandergebracht werden, daß sie sich entweder verstärken oder schwächen. Außerdem können die Spulen entweder parallel oder in Serie geschaltet werden. Dieses Variometer dient gleichzeitig zur relativ festen Koppelung des Stoßkreises mit der Antenne. In der Antennenleitung liegt ferner einmal eine stufenweis veränderliche Verlängerungsspule und zweitens ein die Stufen überbrückendes Variometer, das aus zwei ineinanderliegenden Kreisspulen besteht, von denen die eine sich um einen gemeinsamen Durchmesser um

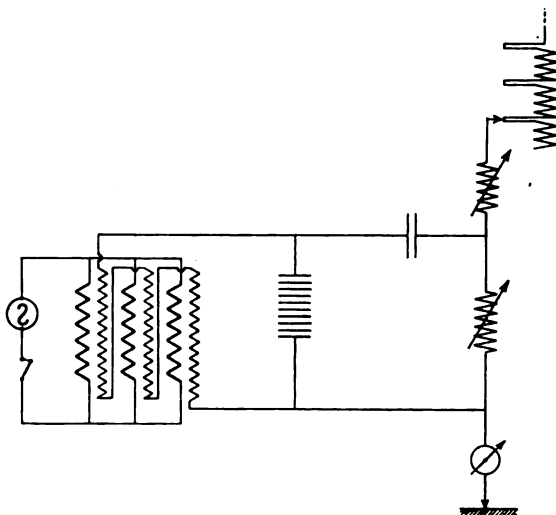
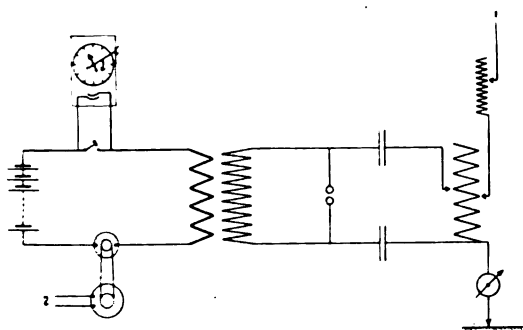


Abb. 9. Schema des Braunschens Senders. Abb. 10. Schema des Senders für Stoßerregung.

180° drehen läßt. In der Erdleitung liegt ein großes Hartmann und Braunschens Hitzdrahtamperemeter. Der stetig variable Wellenlängenbereich geht bis 2400 m. Gegeben wird mit einem großen Morsetaster. Die Primärenergie beträgt maximal 5 KW. Bei einer Antennenstromstärke von ca. 13 Ampere hat die Station eine Sende-Reichweite von 300—400 km.

Von den Empfangsanordnungen ist die erste ein einfacher Kohärerempfang mit Klopper, Relais und Morseschreiber. Die Anordnung kann entweder direkt in der Popoffschen resp. ursprünglichen Marconischaltung oder unter Verwendung einer Abstimmungspule und eines Kondensators in Braunschens Schaltung benutzt werden.

Der zweite Empfänger ist ein kompletter Hörempfänger mit elektrolytischem Detektor der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie.

Die dritte Anordnung endlich ist den neueren Hörempfängern der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie nachgebildet (Abb. 11). Als Empfangsorgan dient ein Graphit-Bleiglanzthermodetektor. Mit Hilfe stufenweiser Selbstinduktionsspulen und eines variablen Luftkondensators kann auf jede beliebige Wellenlänge zwischen 150 und 2300 m abgestimmt werden. Der primäre Kreis induziert in sehr loser variabler Koppelung auf den aperiodischen Kreis, parallel zu dessen Kondensator

ein 1000 Ohmiger Telephonhörer liegt. Mit diesem Empfangsapparat werden die Signale von Nauen, Norddeich, Paris usw. mit relativ großer Lautstärke zuverlässig empfangen.

Außerdem enthält dieser Raum die erforderlichen Schalter, Rheostaten, Sicherungen, Volt- und Amperemeter, Antennendurchführungen, Blitzsicherung usw.

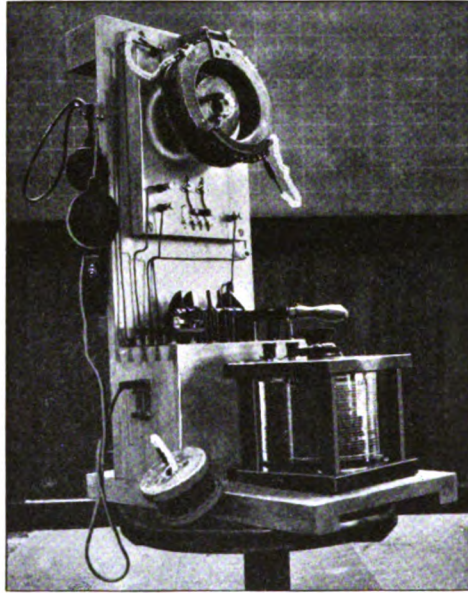


Abb. 11. Moderner Hörempfänger nach Telefunken.

sowie auf einem Gestell eine Reihe von Hilfsinstrumenten, die Anordnungen zur Wellen- und Dämpfungsmessung und einen Arbeitsplatz für radioaktive Untersuchungen.

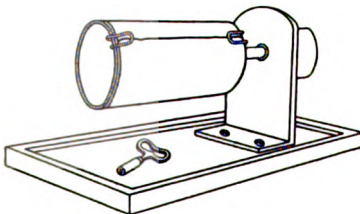
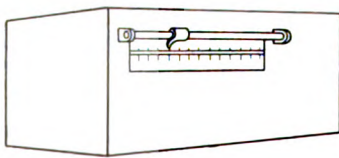


Abb. 12. Registriertrommel.

In dem anstoßenden Registrierraum befinden sich außer dem erwähnten, großen Lahmeyer'schen Transformator zwei von der Dielung unabhängige Betonsockel. Der eine von ihnen trägt auf einem schweren, eisernen, dreibeinigen Stativ

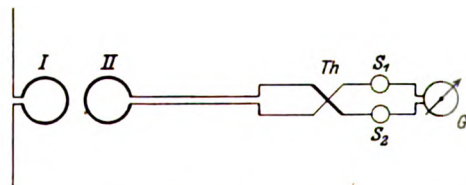


Abb. 13. Kontrolle der Antennenstromstärke.

zwei Edelmannsche Drehspulspiegelgalvanometer. Diesen gegenüber sind in 2 m Entfernung zwei vertikale Spallampen mit verstellbaren Linsen und eine in

24 Stunden einmal umlaufende, durch einen mit Schlitz versehenen Kasten abgedeckte, horizontalgelagerte Registriertrommel¹⁾ (Abb. 12) angebracht. Mit Hilfe zweier Drahtklammern kann die Trommel mit einem Blatt Bromsilberpapier von 18×24 cm bezogen werden. Die von den Galvanometerspiegeln reflektierten, durch den Deckelschlitz punktförmig abgeblendeten Spaltbilder treffen die lichtempfindliche Schicht und ergeben nach der Entwicklung zwei Kurven, die den jeweiligen Ablenkungsbetrag der Galvanometer von der Ruhelage erkennen lassen. Da der Trommelumfang ca. 24 cm beträgt, entspricht auf den Blättern dem Zeitraum einer Stunde etwa 1 cm Abszissenlänge.

Das eine der hier aufgestellten Galvanometer hatte dauernd den Zweck, den Betrag der von der Antenne beim Senden ausgestrahlten Energie zu registrieren. Zu diesem Zwecke war die in Skizze 13 angegebene Schaltung gewählt. Die Antennenleitung bildet, ehe sie die Deckendurchführung erreicht, eine Schleife I, der mit Hilfe eines einfachen Koppelschiebers²⁾ eine aus mehreren Windungen bestehende Schleife II in fest fixierbarem Abstand gegenüber gebracht werden kann. Die Enden dieser Schleife II stehen durch engparallele Zuleitungen, in die noch 2 Selbstinduktionsspulen S_1 und S_2 eingeschaltet sind, damit die Induktanz groß gegen den Ohmschen Widerstand werde, mit einem guteingebauten Brandesschen evakuierten Thermoelement in Verbindung. Die beiden anderen Pole des aus je 0,02 mm Eisen- und Konstantendraht gebildeten Thermokreuzes liegen über zwei Drosselspulen D_1 und D_2 , die der Hochfrequenz den Weg versperren sollen, am Galvanometer G. Der Ausschlag des Galvanometers ist also proportional dem Quadrat des in der Antenne fließenden Stromes. Er gibt bei konstant gehaltenen Verhältnissen ein relatives Maß der in der Antenne schwingenden Energie und damit ein relatives Maß der von der Antenne ausgestrahlten Energie.

Antennenmast.

Zwischen dem Schuppen 4 und dem Anwesen steht auf der Mitte der Böschung der Antennenmast 9 (vgl. Abb. 2). Er besaß ursprünglich eine Höhe von 39 m und bestand aus einem, durch Stahldrahttaue verankerten, 30 m langen Untermast, auf dem oben eine schwächere Stange mit einer kleinen Querrahe angebracht war (vgl. Abb. 14). Die Querrahe trug 6 Blöcke mit eingeschorenen Enden, so daß die verschiedenen Antennengebilde usf. aufgeheißt werden konnten. Im Winter 1909—1910 wurde infolge heftiger Stürme die Stange defekt, und es wurde im Frühjahr 1910 eine neue solidere Mastverlängerung aufgebracht (vgl. Abb. 14b). Der Mast besitzt nunmehr eine Höhe von 42,3 m, oder, da sein Fußpunkt einige Meter erhöht liegt, von ca. 46 m über der Talsohle. Mit zur Vorbereitung auf die in Aussicht genommenen Fernversuche wurde er diesmal mit einer 13 drähtigen Schirmantenne aus Phosphorbronzedraht von 3,0 mm Durchmesser bespannt. Die je 30 m langen Drähte sind oben an einer großen Deltadoppelglocke mit Schirm befestigt

¹⁾ H. Ebert u. Kurz, Abhandl. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissenschaften, XXV. Bd., 2. Abh., 13, 1909.

²⁾ Dieckmann, Dissertation, Straßburg 1907, S. 9.

und unter Zwischenschaltung geeigneter Porzellanisolatoren mit geteerten Hanftauen an sechs in 45 bis 70 m Entfernung aufgestellte Nebenmasten von ca. je 11 m Höhe geführt (vgl. Skizze 15). Jeder Nebenmast trägt auf seiner Spitze gleichfalls eine große Deltaglocke, so daß der Isolationszustand des Luftdrahtgebildes im allgemeinen gut war. Die Zuleitung vom Schuppen erfolgt durch vier in einigen cm Abstand geführte Phosphorbronzedrähte. Da in Rücksicht auf ein Nachbargrundstück die Antenne nicht symmetrisch verspannt werden konnte, wurde es notwendig, das Kräftepolygon durch Anbringung von Stahlseilen zu schließen. Außer diesen Gegenzugseilen waren noch zahlreiche an acht schwere Betonklötze und zwei Meter tief vergrabene Anker geführte, mit Porzellaneiern mehrfach unterteilte Verspannungen erforderlich. An dem ganzen Mast sind somit gegen 3 km Material

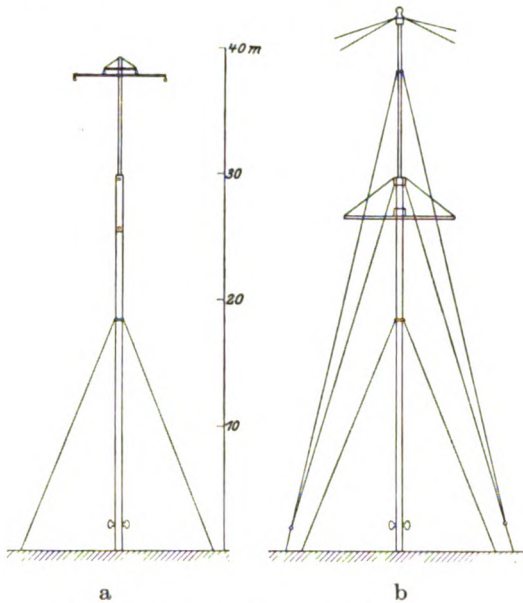


Abb. 14 (a und b). Alter und neuer Antennenmast 9.

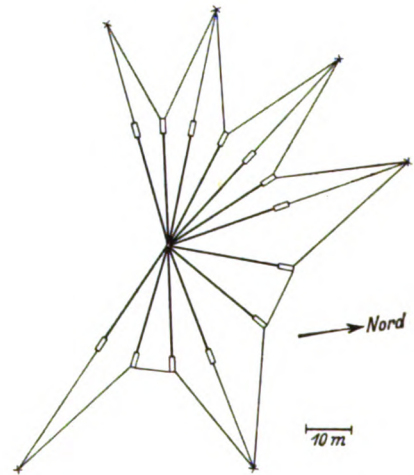


Abb. 15. Projektion der Schirmantenne.

verspannt. Mehrere in verschiedener Höhe angebrachte Blöcke und eine in ca. 28 m Höhe befestigte 8 m lange Rahe ermöglichen die Aufbringung beliebiger Hilfsanordnungen.

Die Erdleitung des Schuppens ist dreifach unterteilt. Die drei Leitungen können getrennt oder gemeinsam angeschlossen werden. Einmal dient als Erdung eine in das Grundwasser geführte $0,5 \text{ m}^2$ Kupferplatte, dann die Wasserleitung und endlich ein mehrfach ca. 20 cm tief gegrabenes und mit den Erdankern in Verbindung gebrachtes Netz von verschiedenen Drahtsträngen, an das auch der Drahtzaun, der das Grundstück an einer Seite begrenzt, angehängt werden kann.

Dieses Antennengebilde in Verbindung mit den im Schuppen untergebrachten Sende- und Empfangsapparaten stellt eine drahtlos telegraphische Station verhältnismäßig großer Leistungsfähigkeit, die mehrfach u. a. speziell gegen die Militärsationen erprobt wurde, dar. Die Station ist als solche unter Auflage gewisser Betriebsbedingungen für Versuchszwecke staatlich konzessioniert.

Ballonschuppen, Materialschuppen.

Etwa 180 m östlich von dem Schuppen 4 in der Mitte der gepachteten Wiese liegen der Ballonschuppen 5 und der Materialschuppen 6 (Abb. 2). Der Ballonschuppen (Abb. 16) enthält den aus gummierter Seide nach dem Finsterwalderschen

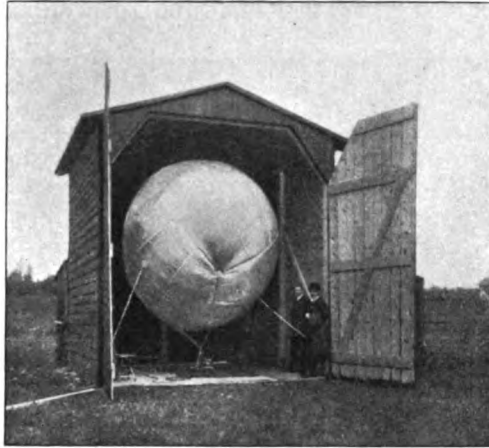


Abb. 16. Ballonschuppen.

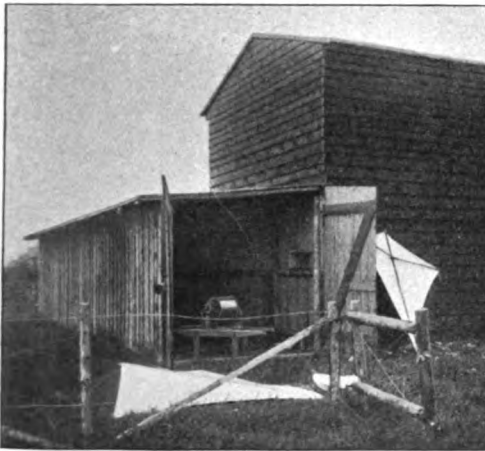


Abb. 17.

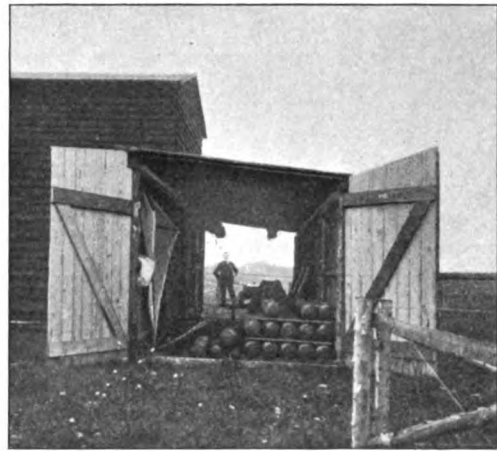


Abb. 18.

Ballon- und Materialschuppen.

Schnitt hergestellten 17 m^3 Kugelballon für luftelektrische Potentialmessungen. In dem anschließenden 12 m langen Materialschuppen (Abb. 17 und 18), der durch eine Öffnung mit dem Ballonschuppen in direkter Verbindung steht, ist zahlreiches Hilfsinventar aufbewahrt, u. a. die Wasserstoffflaschen für den Ballon, zwei weitere Ballonhüllen, zwei Drachen, drei hochisolierende Ballonwinden¹⁾, Meßgestänge, Beobachtungstische, Hocker u.s.f.

¹⁾ Dieckmann, Physikal. Zeitschr., 10. Jahrg. 832, 1909; Verh. der Physikal. Gesellschaft, XI. Jahrg., 699, 1909.

Registrierschuppen, Arbeitsschuppen, zweiter Mast.

Am östlichsten Punkte der Wiese, neben einem kleinen Fichtenwäldchen, liegt der Registrierschuppen 7 mit einem Arbeitsraum 8 und dem Mast 10 (Abb. 2).

Der Registrierschuppen ist durch eine Oberleitung von Nord-Westen her an das Drehstromnetz der Isarwerke angeschlossen. Er enthält ein registrierendes

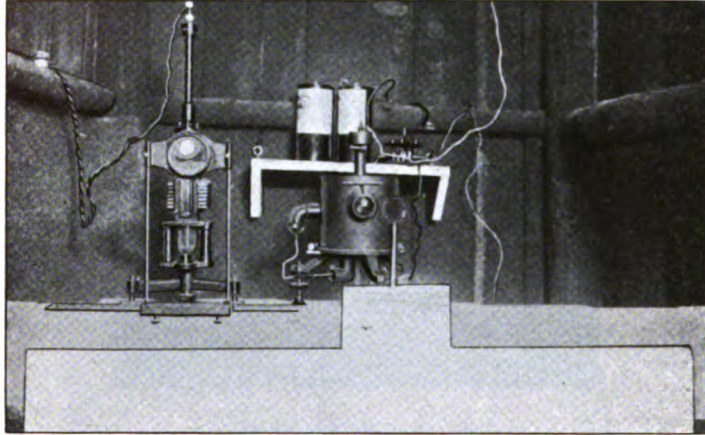


Abb. 19. Galvanometer u. Elektrometer.

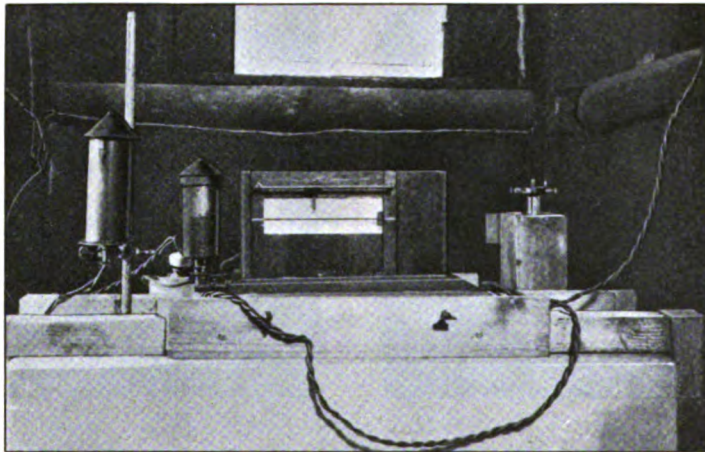


Abb. 20. Registriertrommel u. Spaltlampen.

Elektrometer und Galvanometer. Zu dem Zwecke sind zwei große Betonpfeiler in 2 m mittlerem Abstand aufgestellt. Der eine (Abb. 19) trägt ein von Ebert angegebenes Quadrantenelektrometer mit Induktionsdämpfung¹⁾, ein Edelmannsches Spiegelgalvanometer nebst zwei Linsen; der andere (Abb. 20) trägt zwei Spaltlampen und die Registriertrommel.

¹⁾ Ebert, Zeitschr. für Instrumentenkunde, 29, 169, 1909.

Das Elektrometer dient zur Registrierung des Potentialgefälles. Diese Potentialmeßanordnung war das Schmerzenskind der gesamten Anordnung. Sie hat während der Versuche zahlreiche Abänderungen erfahren, ohne daß eigentlich bis zum Abschluß der Arbeit stets mit Sicherheit auf ein richtiges Funktionieren zu rechnen war. Dabei sei betont, daß das vorzüglich gedämpfte Elektrometer sich durchaus bewährte. Ein Teil der Untersuchung wurde auch mit einem Quadrantenelektrometer von Leppin und Masche ausgeführt, das gleichfalls keine Nachteile zeigte. Die Störungen lagen fast stets in der Isolation des Kollektors und der Deckendurchführung. Die zuletzt meist benutzte Anordnung zeigt das Schaltschema 21.

Der Kollektor, ein mit Polonium (Ra F) elektrolytisch überzogenes Platinblech P von ca. 14 cm² Oberfläche, ist in einer kleinen offenen „Laterne“ L auf einem 11 m hohen Mast neben dem Schuppen angebracht. In niederen Höhen unmittelbar neben dem Schuppen waren wegen des benachbarten Antennenmastes 10 die Gefällwerte ungünstig klein; zeitweise befand sich auch ein Kollektor in etwa 37 m Höhe über dem Boden. Die Art der Isolation läßt sich aus der Skizze erkennen. Der in seiner Höhe h verstellbare Laternenhalter sitzt in einem mit Klemme versehenen Messingrohr R, das durch ein, in der üblichen Weise gerieftes Hartgummistück H geführt und festgestiftet ist. Dieser Hartgummi-Isolator H wird in seinem Mittelstück von einem Messingrohr umfaßt, das an einer größeren Blechscheibe S festgelötet und mit dieser auf dem entsprechend durchbohrten, horizontalen Brett B festgeschraubt ist. Um die Hartgummioberfläche zu schützen, ist der oberhalb und unterhalb des Brettes befindliche Teil durch vier Zinkblechkappen (Z₁ bis Z₄) welche Rinnen enthalten, umgeben. Z₁ und Z₄ lassen sich mit Klemmen an dem Laternenhalter verstellen. In die Rinnen von Z₂ kann ebenso wie in die von Z₄ etwas Kalziumkarbid zur Trocknung gebracht werden. Z₃ ist von unten an das Brett B geschraubt es liegt, um elektrostatisch definierte Verhältnisse zu schaffen, ebenso wie Z₂ und die Blechscheibe S durch eine Kupferleitung an Erde. Unten trägt der Laternenhalter

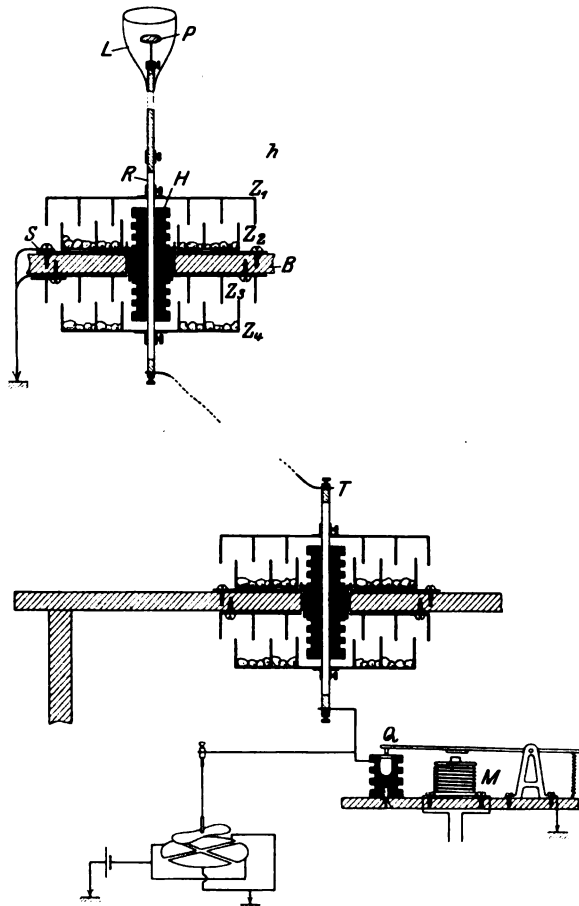


Abb. 21. Potentialmeßanordnung.

die Laterne L trägt. Die untere Ansicht zeigt eine Detailansicht der Montage auf dem Brett B, wobei ein Messingrohr durch ein Hartgummistück H in ein Messingrohr R führt. Die Blechscheibe S ist an dem Brett B befestigt. Die Kappen Z1 bis Z4 sind ebenfalls an dem Brett B befestigt. Die untere Ansicht zeigt auch eine Kupferleitung, die die Blechscheibe S an Erde angeschlossen hat. Ein Messingrohr a ist ebenfalls an dem Brett B befestigt. Die untere Ansicht zeigt auch eine Kupferleitung, die die Blechscheibe S an Erde angeschlossen hat. Ein Messingrohr a ist ebenfalls an dem Brett B befestigt.

eine Klemme, von der ein Draht zur Deckendurchführung der Hütte hinabgeht. Diese Deckendurchführung ist nach den gleichen Isolationsprinzipien gebaut, nur tritt an Stelle des Laternenhalters und des Rohres R jetzt der einfache oben und unten mit Anschlußklemmen versehene Messingteil T. Von T geht die Leitung nicht direkt zum Elektrometer, sondern sie ist erstmals an ein mit Hartgummi isolierendes Quecksilbernäpfchen Q eines Erdschlüssels geführt. Mit Hilfe eines von einem

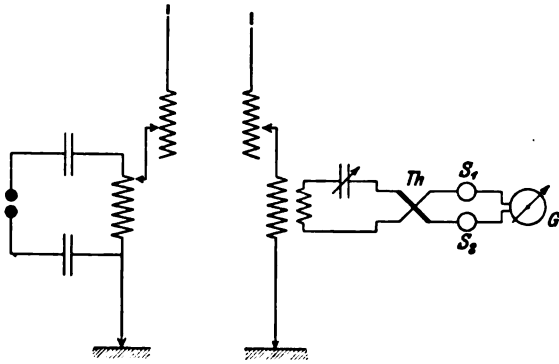


Abb. 22. Schaltung für den Registrierempfang.

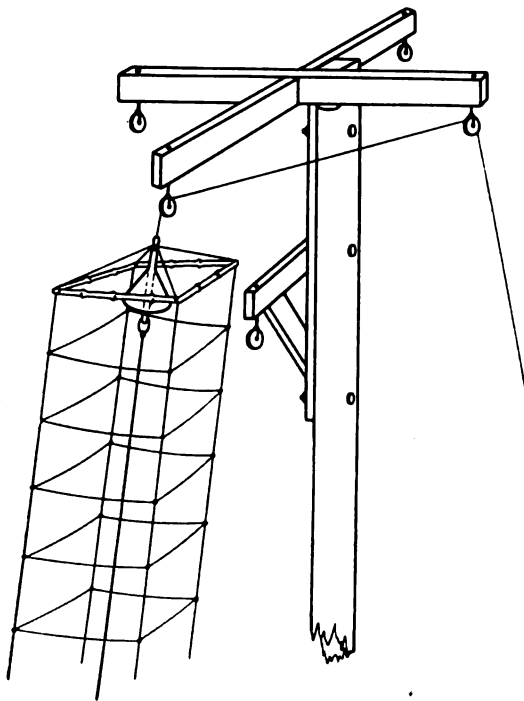


Abb. 23. Kopf des Mastes 10.

Kontaktwerk bedienten Elektromagneten M wird allstündlich über mehrere Minuten ein Kontakt zwischen Q und Erde herbeigeführt. Von diesem Erdschlüssel geht die Kollektorleitung unmittelbar an die Nadel des Quadrantenelektrometers. Das eine Quadrantenpaar wird durch zwei Trockenelemente auf ca. 3 Volt aufgeladen, das andere liegt an Erde. Wie schon bemerkt erforderten die Isolationsstellen sehr häufige Revision. Bei einer relativen Feuchtigkeit über 80 % blieb die Messung stets unsicher.

Das Spiegelgalvanometer bildete nach Abb. 22 einen Bestandteil eines quantitativ registrierenden drahtlos telegraphischen Empfängers. Von der mit einer Abstimmspule versehenen Antenne wird in loser Koppelung auf einen geschlossenen, mit Drehplatten-Kondensator abstimmbaren Kreis induziert, der ein empfindliches evakuiertes Brandesches Thermoelement Th enthält. An das Thermoelement ist unter Zwischenschaltung von Drosselspulen S_1 , S_2 das Galvanometer G angeschlossen.

Der neben dem Registrierschuppen gelegene mit festen Wandtischen versehene Arbeitsraum 8 bot für gelegentliche kleinere Arbeiten Raum. Eine feste Apparatenanordnung war hier nicht vorge-

gesehen, bis auf einen kleinen Markonisender, der ebenso wie eine elektrische Signallampe zur Verständigung mit dem ca. 360 m entfernten Schuppen 4 diente.

Wenige Meter hinter den beiden Schuppen steht Mast 10. Auf seinem 28 m hohen, von vier Verankerungen gehaltenen Untermast war ursprünglich eine 9 m hohe Verlängerungsstange angebracht. Bei demselben Sturm, bei dem auch Mast 9 defekt wurde, brach diese Verlängerung kurz über dem Untermast völlig ab. Nachträglich wurde, da der 28 m-Mast für die beabsichtigten Zwecke hinreichte, von der Aufbringung einer neuen Stange abgesehen. Er erhielt dafür oben ein schweres horizontales Kreuz mit im ganzen 5 Blöcken (vgl. Skizze 23) zum Aufziehen der verschiedenen Antennen und Schutzgebilde. Die Antennen können durch eine besondere isolierte Durchführung in das Innere des Registrierschuppens geleitet werden. Als Erdung dient eine 3 m tief vergrabene Kupferplatte von 0,5 m² oder ein die Schuppen 7, 8 und den Mast in Form eines niederen Drahtzaunes umgebendes „Gegengewicht“.

Einige der Teiluntersuchungen wurden nicht auf dem hiermit beschriebenen Gelände in Gräfelfing, sondern im Physikalischen Institut der technischen Hochschule in München vorgenommen.

Untersuchung.

I. Das elektrostatische Erdfeld in der Nachbarschaft der Antenne.

Methoden zur Ermittlung des Feldverlaufes.

Jedes Antennengebilde der drahtlosen Telegraphie, das in irgendeiner Form in die freie Atmosphäre hineinragt, wird nach S. 7 als „Leiter im Feld“ den normalen Verlauf der Kraftlinien und Potentialflächen stören. Je nach der Anordnung der einzelnen Leiterteile sowie je nach den elektrischen Ausgleichsmöglichkeiten gegen Erde oder Atmosphäre, werden sich ganz bestimmte charakteristische Änderungen in der Nachbarschaft der Antenne ergeben.

Wenn es sich nun darum handelt den Verlauf des Feldes in der Nähe eines derartigen Leitergebildes anzugeben, so können an sich 4 Methoden in Frage kommen:

1. Berechnung des Feldverlaufes.
2. Experimentelle Bestimmung mit Potentialmeßanordnungen am wirklichen Objekt.
3. Experimentelle Bestimmungen mit Potentialmeßanordnungen an einem elektrisch-ähnlichen Modell im künstlichen Feld.
4. Gefühlsmäßige Schätzung des Verlaufes unter Berücksichtigung des Längszuges und Querdruckes der Kraftlinien und der Tatsache, daß die Kraftlinien auf allen Potentialflächen, also auch auf den Leiterflächen, senkrecht stehen.

Berechnung.

Die erste dieser Methoden muß ausscheiden, sobald es sich, wie bei den drahtlos telegraphischen Antennen zumeist, um kompliziertere, willkürliche Gebilde handelt. Für einfache lineare vertikale Leiter (Stangen) hat Benndorf¹⁾ der sie als halbe oder gestreckte Rotationsellipsoide auffaßte, die Berechnung durchgeführt.

Ausmessung mit Sondenballon.

Sehr schwierig und nur ungenau läßt sich auch in den meisten Fällen die experimentelle Auswertung im Freien aufgestellter großer Antennen mit Hilfe von Potentialmeßanordnungen durchführen. Es ist nötig, die einzelnen Feldpunkte

¹⁾ H. Benndorf, Über gewisse Störungen des Erdfeldes mit Rücksicht auf die Praxis luftelektrischer Messungen. Sitzungsber. der Wiener Akademie. Math. naturw. Klasse 115, Abt. 2a, 425, 1906.

mit einer Sonde abzutasten; dazu steht bei hohen Gebilden an technischen Hilfsmitteln nur der Ballon zur Verfügung. Schon bei leisem Wind ist aber der Ort eines Fesselballons äußerst schlecht definiert. Immerhin wurde von dieser Methode zur Kontrolle der übrigen beschränkter Gebrauch gemacht.

Die gesamte Meßanordnung besteht dabei, wie die schematische Skizze 24 zeigt, aus drei Teilen: dem Fesselballon, der oben die Sonde oder den Ausgleicher (Kollektor) trägt, einer isolierenden Kabelwinde und einem Voltmeter.

Als Ausgleicher dienen mit Polonium elektrolytisch überzogene Platinbleche, die einzeln oder in größerer Anzahl mit entsprechenden Klemmen (vgl. Abb. 25) auf den Ballon aufgebracht werden können.

Der verwendete Ballon von 17 m^3 Inhalt hat bei Wasserstoff-Füllung etwa 10 kg Auftrieb. Von den Sondenhaltern gehen Drahtleitungen nach dem mit drehbaren Nippel versehenen Karabinerhaken K, an welchem das Haltekabel, ein „meteorologischer Stahldraht“ von 1,0 mm Durchmesser befestigt ist.

Die Trommel T der Kabelwinde ist von der Achse A durch Hartgummi isoliert. Da diese Hartgummimasse bei den gelegentlich auftretenden starken Zugkräften ungünstig auf Scherung beansprucht wird, ist die Isolationsstelle nach Skizze 26 ausgebildet¹⁾. Die Achse trägt vier angegossene Flügel, die in eine entsprechend mit vier Aussparungen versehene

Gußform, welche mit der Trommel verschraubt ist, hineinragen. Der Zwischenraum ist mit Hartgummi, der somit nur auf Druck beansprucht wird, ausgeknetet. Die Enden der Trommelachse sind durch überstehenden geriefelten Hartgummizylinder und Trockenkappen geschützt. Durch eine Bandbremse kann die Trommel festgebremst werden, ein Tourenzähler kontrolliert die Länge des jeweils abgelaufenen Kabels.

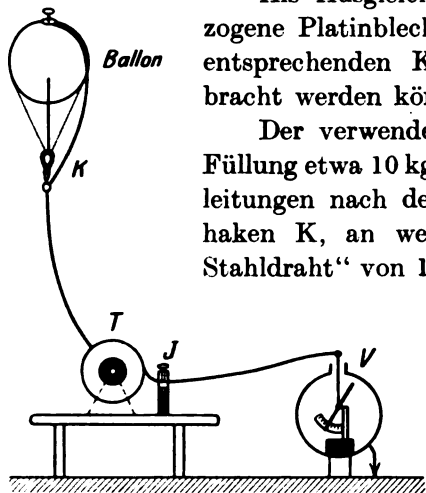


Abb. 24. Potentialmeßanordnung.

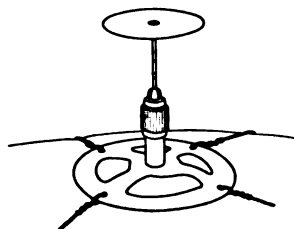


Abb. 25. Sondenklemme.

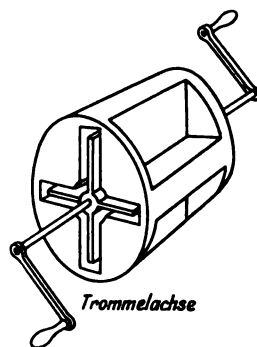


Abb. 26. Gußteile der Trommel.

Die Spannung wird durch eine Schleiffeder, welche auf dem nach den üblichen Isolationsprinzipien geschützten Träger J sitzt, dem Hochspannungsvolt-

¹⁾ Dieckmann. Physikalische Zeitschrift, 10. Jahrg., 832, 1909; Verh. der Physik. Gesellschaft. II. Jahrg., 699, 1909.

meter V zugeführt. Als Voltmeter kamen bei den wenigen Versuchen, die zu Antennenbeobachtungen ausgeführt wurden, Braunsche Voltmeter mit einem Meßbereich bis 5000 Volt zur Verwendung.

Ausmessung am Modell im künstlichen Feld.

Weit genauere und quantitativ brauchbare Ergebnisse erhält man nach der Methode 3, indem man sich nach dem Vorgange von Maxwell¹⁾, Ebert und Lutz²⁾ ein elektrisches Modell des feldstörenden Körpers anfertigt und dieses in einem dem Erdfeld analogen künstlichen Feld untersucht. Für die weiterhin mitgeteilten Messungen konnte ein vorhandener von Herrn cand. Hoffmann verwendeter

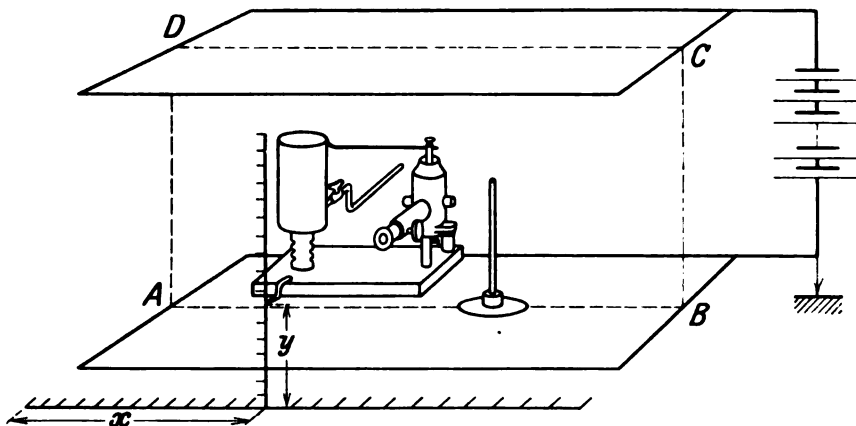


Abb. 27. Meßanordnung mit künstlichem Feld.

Apparat mitbenutzt werden. Das elektrostatische Feld wird durch zwei Zinkplatten (Abb. 27) von $2,0 \times 1,0 \text{ m}^2$ Oberfläche gebildet, die sich isoliert in $0,50 \text{ m}$ Abstand gegenüber befinden. Die obere Platte kann durch eine Akkumulatoren-batterie auf $+ 300 \text{ Volt}$ geladen werden. Die untere liegt mit dem negativen Pol der Batterie an Erde. Zwischen den Platten besteht also im inneren Teile ein homogenes Feld mit einem Gefälle von

$$\frac{dV}{dh} = 6 \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$$

Als Sonde dient ein Wasserkollektor, der mit einem dünnen Ausflußrohr seitlich in das Feld hineinragt. Durch eine horizontale und vertikale Schlittenführung kann dem Ausgleichspunkt mit großer Genauigkeit jede beliebige Lage, die man sofort in den rechtwinkligen Koordinaten ablesen kann, auf der Mittelebene gegeben werden. An das Gefäß des isoliert aufgestellten Wasserkollektors ist ein Lutzsches Seitenelektrometer angeschlossen. Kollektorgefäß und Elektrometer befinden sich mit auf dem beweglichen Schlitten.

¹⁾ J. Cl. Maxwell, Treatise I, § 94.

²⁾ H. Ebert u. C. W. Lutz, der Freiballon im elektr. Feld der Erde; Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, 1908, Bd. II, Heft 5, 183 ff.

Schätzung.

Obwohl die Ausmessung des Feldverlaufes mit einer derartigen Anordnung sich relativ einfach gestaltet, kann es für viele Fälle, in denen es weniger auf zahlenmäßige Angabe als vielmehr auf Feststellung der Kennzeichen des Feldverlaufes ankommt, genügen, eine Querschnittsskizze des Feldes entweder durch Zeichnung des Kraftlinienverlaufes oder des dazu senkrechten Systemes von Potentialflächen zu entwerfen. Das durch Betrachten gut durchgemessener Anordnungen, wie sie beispielsweise in den Hoffmannschen Messungen vorliegen, geschulte Gefühl gibt die tatsächlichen Verhältnisse mit hinreichender Näherung wieder. Von diesem Verfahren 4 ist deshalb im folgenden häufig Gebrauch gemacht. Die praktisch besonders wichtigen Fälle sind nach Methode 3 zahlenmäßig ausgewertet worden, wobei einige Messungen nach der direkten Methode 2 die Zulässigkeit des Verfahrens bestätigen.

Antenne mit Ausgleich gegen Erde.

Die erste Gruppe der hier zu betrachtenden Anordnungen behandelt den in der Praxis fast stets realisierten Fall, daß die Antenne eine Ausgleichsmöglichkeit gegen Erde besitzt. Dieser Fall soll deshalb eingehender als die übrigen dargestellt werden.

Wenn ein drahtlos telegraphisches Luftleitergebilde, es sei durch den linearen Leiter A auf Skizze 28 symbolisiert, mit dem Erdboden durch eine Leitung L verbunden ist, so bildet es gewissermaßen einen Teil der Erdoberfläche und deformiert die Potentialfläche in der in Abbildung 1 bereits mitgeteilten Weise. Die Flächen, zwischen denen gleich große Potentialdifferenzen, beispielsweise von je 100 Volt bestehen, drängen sich über der Spitze zusammen, so daß dort größere Gefällwerte auftreten müssen. Während sonst z. B. die Fläche, deren Punkte eine Potentialdifferenz von 1000 Volt gegen Erde haben, in 10 m Abstand vom Boden verläuft, entsprechend einem Potentialgefälle von

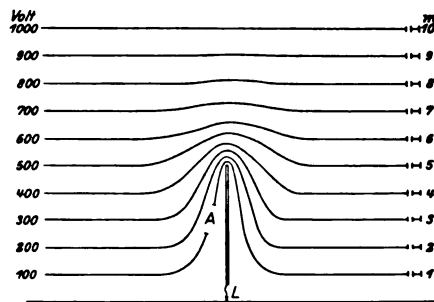


Abb. 28. Linearer, vertikaler Leiter.

$$\left(\frac{dV}{dh} \right)_{\text{Boden}} = 100 \frac{\text{Volt}}{\text{Meter}},$$

sei diese Fläche von einer Antennenspitze nur ca. 1 m entfernt. Dies würde dann einem mittleren Gefälle

$$\left(\frac{dV}{dh} \right)_{\text{Spitze}} = 1000 \frac{\text{Volt}}{\text{Meter}},$$

also dem zehnfach größeren Betrage entsprechen.

Erdung statisch und bei Hochfrequenz.

Es ist zum Auftreten einer derartigen Sachlage nicht erforderlich, daß die betreffende Antenne „gut“ geerdet ist. Man muß überhaupt bei der Betrachtung dieser Verhältnisse die ganz verschiedene Isolierbarkeit statisch geladener oder mit Hochfrequenz beschickter Leiter auseinanderhalten. Eine vollkommene Isolation statischer Ladungen ist äußerst schwierig herzustellen; wenn in der Zeiteinheit auch nur ein geringer Bruchteil der angehäuften Elektrizitätsmenge durch eine Verbindung von hohem Ohmschen Widerstand abfließt, so sinkt doch dauernd das ursprüngliche Potential. Der gänzliche Ausgleich erfolgt um so schneller, je kleiner *ceteris paribus* die Kapazität der Anordnung war.

Bei Hochfrequenzisolationen kommt es, abgesehen davon, daß meist Energie nachgeliefert werden kann, jedoch nicht auf den Ohmschen Widerstand W , sondern auf den effektiven Widerstand W_{eff} der Verbindung bei der betreffenden Wechselzahl an. Der effektive Widerstand ist aber, abgesehen von der Erhöhung des scheinbaren Widerstandes, für den Fall die Leitung Selbstinduktion enthält, stets größer als der Ohmsche Widerstand.

Schließt man also bei Hochfrequenz einen direkten Funkenübergang aus, so sind an die Isolation der Drähte gegen Leitungsverluste nur sehr geringe Anforderungen zu stellen. Ein nasser Faden kann beispielsweise statische Ladungen in kurzer Zeit ableiten: als Nebenschluß in einer Hochfrequenzanlage bleibt er, sobald er nicht einen Funkenübergang begünstigt, bedeutungslos.

Unter dem zuerst betrachteten Fall der elektrostatisch mit der Erde ausgeglichenen Antenne sind also im allgemeinen auch alle die Antennen zu rechnen, die im schwingungstechnischen Sinn als von Erde isoliert gelten.¹⁾ Die Porzellanisolatoren der Gegengewichtsdrähte, die Einführungsisolatoren, namentlich aber die Leitungen der Koppelungsspulen sind für den Fall die Antenne nicht direkt geerdet ist, selten in einem Zustand, in dem sie nicht einen Ausgleich statischer Ladungen ermöglichen.

Linearantenne ohne Hochfrequenz; Methode 4.

Für alle diese Antennen, die praktisch das gleiche Potential wie die Erde besitzen, gilt somit als Charakteristikum, daß namentlich in der Nachbarschaft der oberen Teile Werte des Potentialgefälles von erheblich größerem Betrage vorhanden sind, als sie über der Ebene bestehen.

Linearantenne ohne Hochfrequenz; Methode 3.

Eine quantitative Ausmessung der Felder ist an Repräsentanten dreier typischen Antennenformen nach Methode 3 erfolgt, einmal einer Linearantenne, einer Schiffsantenne, und einer Schirmantenne. Die Messungen an der Linearantenne wurden nach Methode 2 geprüft.

Alle 3 Modelle bestehen aus Messingdraht von 1,5 mm Stärke und besitzen eine Höhe von 25,0 cm. In der Meßebeue A B C D (Abb. 27) des künstlichen Feldes

¹⁾ Vgl. Zenneck, Elektromagnet. Schwingungen, Stuttgart 1905, S. 454.

wurde bei den Beobachtungen der Verlauf von 9 Potentialflächen verfolgt, und zwar entsprechen die Potentialflächen den in Tabelle 1 angegebenen Spannungswerten gegen die untere Begrenzungsplatte.

Tabelle 1.

Potentialfläche	Volt
1	30
2	60
3	90
4	120
5	150
6	180
7	210
8	240
9	270

Die obere Platte stellt dann die, allerdings nicht deformierbare, Potentialfläche von 300 Volt vor.

Die so gewonnenen Meßergebnisse lassen ohne weiteres Schlüsse zu für Antennen beliebiger Höhe. Die ermittelten Felddiagramme bleiben richtig, wenn man die Spannungswerte der Potentialflächen entsprechend den Maßstabsänderungen umrechnet. Für den Fall in der Natur ein mittleres atmosphärisches Potentialgefälle von 100 Volt/Meter besteht, gibt Tabelle 2 Auskunft darüber, welche Spannungswerte den Potentialflächen 1 bis 9 je nach der Antennenhöhe zukommen. Ist beispielsweise eine 70 m hohe Antenne vorhanden und will man in Anlehnung an die Diagramme erfahren, welcher Spannungswert beispielsweise der Fläche 6 zukommt, so ergibt die Tabelle unmittelbar den Wert 8400 Volt. Trifft die Annahme eines mittleren Potentialgefälles von 100 Volt/Meter nicht zu, sondern herrscht, nach einer in der Ebene ausgeführten Messung, ein solches von $k \times 100$ Volt/Meter, so sind die Spannungswerte der Tabelle 2 mit k zu multiplizieren. Werden beispielsweise nur 80 Volt/Meter im ungestörten Feld beobachtet, so hat k den Wert 0,8 und die Potentialfläche 6 des Diagrammes für eine 70 m hohe Antenne repräsentiert einen Wert von $0,8 \times 8400 = 6720$ Volt.

Tabelle 2. (Spannungswerte.)

		Potentialfläche								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Höhe der Antenne in m	10	200	400	600	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800
	20	400	800	1200	1600	2 000	2 400	2 800	3 200	3 600
	30	600	1200	1800	2400	3 000	3 600	4 200	4 800	5 400
	40	800	1600	2400	3200	4 000	4 800	5 600	6 400	7 200
	50	1000	2000	3000	4000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
	60	1200	2400	3600	4800	6 000	7 200	8 400	9 600	10 800
	70	1400	2800	4200	5600	7 000	8 400	9 800	11 200	12 600
	80	1600	3200	4800	6400	8 000	9 600	11 200	13 800	14 400
	90	1800	3600	5400	7200	9 000	10 800	12 600	14 400	17 200
	100	2000	4000	6000	8000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000

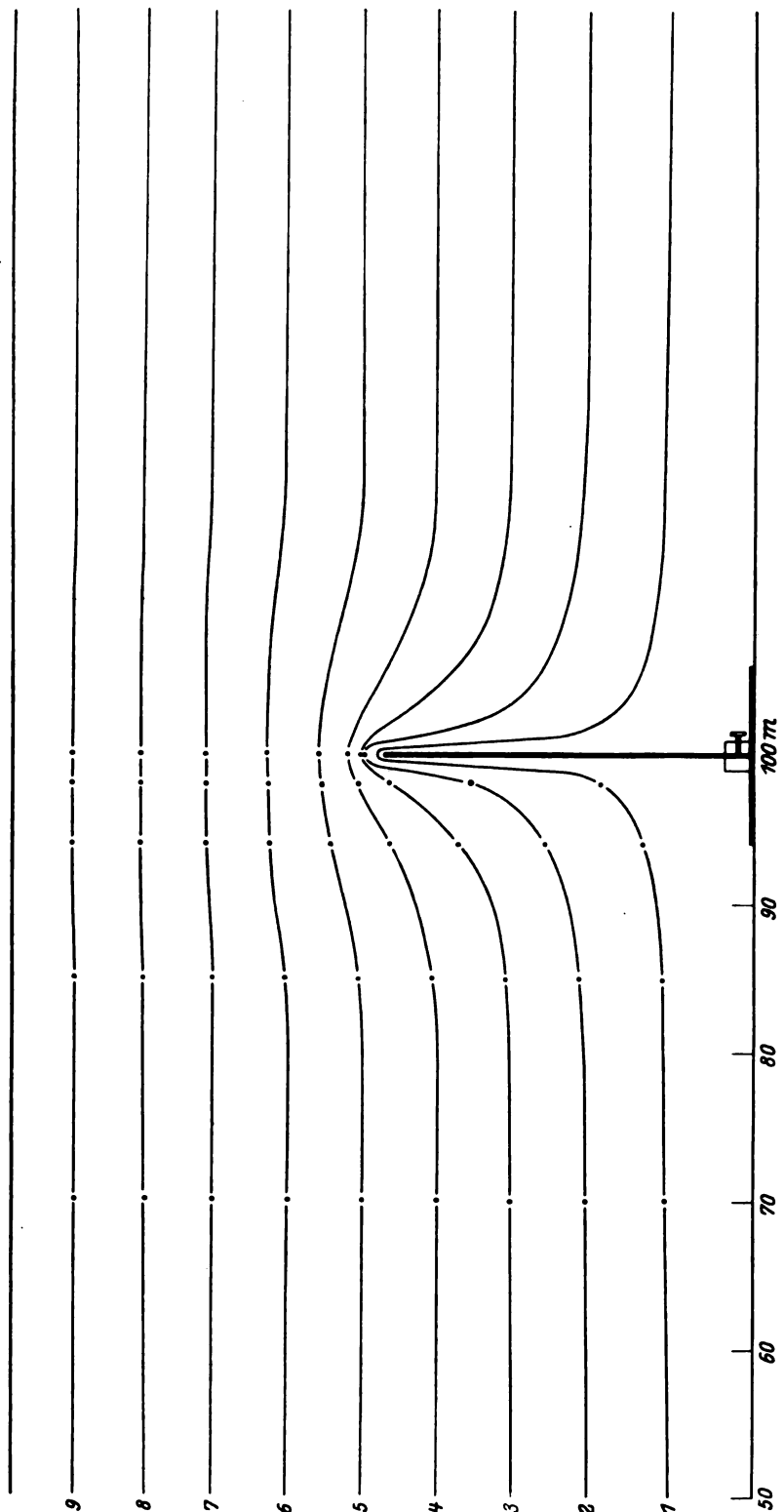


Abb. 29. Linearantenne.

1 m Antennenhöhe in Wirklichkeit wird dabei auf den graphischen Blättern (Abb. 29, 34, und 37) durch folgende Längen dargestellt:

Tabelle 3.

Antennenhöhe	1 m in Wirklichkeit entspricht auf der Zeichnung
10 m	5,00 mm
20	2,50
30	1,67
40	1,25
50	1,00
60	0,83
70	0,71
80	0,62
90	0,55
100	0,50

Abbildung 29 zeigt zunächst den quantitativen Verlauf der Potentialflächen, wie er an dem Modell der Linearantenne (Abb. 30) ermittelt wurde. Man erkennt an dem gedrängteren Verlauf der Potentialflächen, daß in der Nähe der Spitze der Betrag des Potentialgefälles wesentlich größer ist, während sich am Fuß des Leiters fast kein Feld nachweisen läßt.

Alle markierten Punkte sind direkt beobachtet. Es wurde dabei, wie Tabelle 4 angibt, so verfahren, daß bei einer bestimmten Abszissenstellung des Kollektors alle die Ordinatenwerte aufgesucht wurden, an denen der Ausschlag des Elektrometers den für jede der gesuchten Potentialflächen charakteristischen Betrag annahm. Die Messungen lassen sich relativ genau ausführen und dürften in einigem Abstände von dem Leiter nicht über 3 % falsch sein.

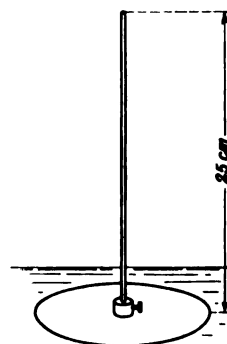


Abb. 30. Modell der Linearantenne.

Tabelle 4. (Ordinatenwerte.)

Elektromet.- Skalenteile	Volt	Abszissenskalenteile					
		50	70	85	94	98	100
— 4,7	30	5,7	6,0	6,1	7,5	10,4	
— 13,7	60	11,2	11,3	11,8	14,2	19,2	26,3
1,2	90	16,3	16,4	16,8	20,0	24,5	26,6
6,3	120	21,4	21,3	21,7	24,6	26,7	27,5
10,3	150	26,4	26,4	26,7	28,5	29,2	29,4
13,9	180	31,5	31,4	31,7	32,7	32,8	32,9
17,0	210	36,5	36,5	36,5	37,0	37,0	37,0
20,0	240	41,0	41,1	41,2	41,4	41,4	41,4
22,8	270	45,8	45,8	45,8	46,0	46,0	46,0

Damit man bei verschiedenen Antennenhöhen den Wert des Gefälles über der Spitze einfach entnehmen kann, sind in der folgenden graphischen Darstellung

(Abb. 31) für verschiedene Abstände von der Spitze die Werte der betroffenen Potentialflächen angeführt. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die eingetragenen

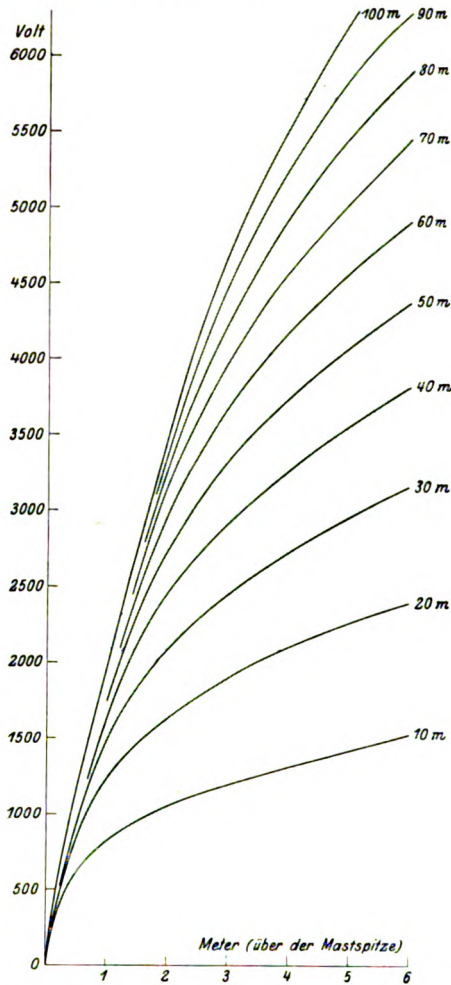


Abb. 31. Wert der Potentialflächen in verschiedenem Abstand von der Spitze bei Masten von 10 bis 100 m Höhe.

Werte für ein Gefälle von 100 Volt/Meter in der Ebene gelten, also beispielsweise mit 4 zu multiplizieren sind, wenn das Gefälle in der Ebene 400 Volt/Meter beträgt. Diese letzte graphische Darstellung ist nicht sehr genau und nur für Überschlagsrechnungen zu verwenden. In unmittelbarer Nähe der Antennenoberfläche dürften überdies weniger einfache Beziehungen gelten.

Linearantenne ohne Hochfrequenz; Methode 2.

Dieser wichtigste Fall der Feldstörung wurde, wie bereits erwähnt, auch nach Methode 2 mit Hilfe des Sondenballons untersucht. Die Messung wurde an dem 37 m hohen Mast 10, der mit einer Linearantenne armiert war, ausgeführt. Es wurden die Höhen von 10 zu 10 m in Abständen von 10, 20 und 30 m vom Mast abgetastet. Obwohl heiteres, relativ windstilles Wetter herrschte und die Isolation keine Mängel aufwies, blieben die an dem Braunschen Elektrometer gewonnenen Ablesungen sehr unsicher. Die Lage des Ausgleichpunktes dürfte seitlich nicht besser als auf ca. 4 m, der Höhe nach 2 bis 3 m, genau definiert sein. Die in Tabelle 5 aufgeführten Elektrometerablesungen bestätigen immerhin qualitativ die nach Methode 3 gewonnenen Daten.

Tabelle 5.

Höhe in m	Abstand vom Mast in m		
	10	20	30
50	5120 Volt	5200 Volt	5120 Volt
40	3930 „	4510 „	4430 „
30	3180 „	3480 „	3530 „
20	2140 „	2680 „	2710 „
10	Kein Ausschlag	ca. 1200 „	1320 „

Ausgleichsstrom gegen Erde.

Zeichnet man an Stelle der Potentialflächen das dazu senkrechte System der Kraftlinien so sieht man, daß auf der Antenne eine außerordentlich große Anzahl von Kraftlinien münden. Ist also, um auf Späteres hinzuweisen, die Luft ionisiert, so bilden diese Kraftlinien die Strömungslinien des aus der Atmosphäre gegen Erde gerichteten Stromes. Alle auf der Antenne mündenden Strömungslinien liegen bei sonst ungestörtem Feld innerhalb einer Kreisfläche, deren Inhalt mit der Antennenhöhe q quadratisch wächst. Die durch den Erdungsquerschnitt des Antennenleiters gegen Erde fließenden Ströme müssen somit auch, Windstille vorausgesetzt, quadratisch mit der Antennenhöhe zunehmen. Bezeichnet man mit i den normalen vertikalen Leitungsstrom in Ampere pro cm^2 und mit l die Höhe der Antenne in cm, so gilt, da mit großer Näherung der Durchmesser der Kreisfläche die wir auch für andere Luftleiterformen als Antennenluftquerschnitt bezeichnen wollen, annähernd gleich der Höhe der Antenne ist¹⁾, für den durch diese Feldverteilung resultierenden Strom in der Erdleitung:

$$I = \frac{\pi}{4} i l^2 \text{ Ampere}$$

Da i den Wert von ca. $2 \cdot 10^{-16}$

$\frac{\text{Ampere}}{\text{cm}^2}$ hat, ergibt sich bei einer beispielsweise 50 m hohen Lineartenne für I ein Wert $3,9 \cdot 10^{-9}$ Ampere in der Erdleitung. Dieser Strom stellt jedoch, wie sich später ergeben wird, nur einen Teil des tatsächlichen Gesamtstromes dar.

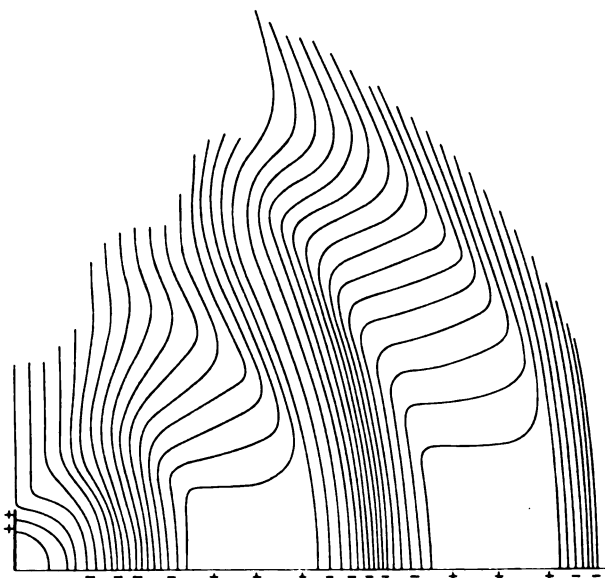


Abb. 32. Superposition von Erd- u. Hochfrequenzfeld.

Linearantenne mit Hochfrequenz.

Im vorstehenden ist das Feld um die Antenne ausschließlich unter der Annahme dargestellt worden, daß die Antennenleiter keine Hochfrequenz führen. Da bisher in der Literatur die Feldverteilung um die „strahlende“ Antenne stets, soweit mir bekannt ist, anschließend an die Hertzschen Diagramme unter Außeracht-

¹⁾ K. Hoffmann hat inzwischen (Dissertation, München 1911, Seite 38 u. 39), im Anschluß an diese ihm von mir früher mitgeteilte Darstellung, versucht, einen genaueren Wert des Antennenluftquerschnittes zu geben. (Bemerkung bei der Korrektur.)

lassung des Erdfeldes dargestellt ist, so dürfte hier der Ort sein, auf die Verhältnisse, wie sie sich unter Berücksichtigung des Erdfeldes ergeben, hinzuweisen. Es wird dabei zur Charakteristik genügen, abermals nur den ungefähren Verlauf des Feldes zu zeichnen, wie er sich aus einer Superposition des Erdfeldes und des Hochfrequenzfeldes ergibt. Nach rein graphischen Methoden würden sich genaue Superpositionsbilder auch für den Fall stark gedämpfter Schwingungen unter Zugrundelegung der Diagramme von Pearson und Lee¹⁾ und unter Berücksichtigung der Boden-

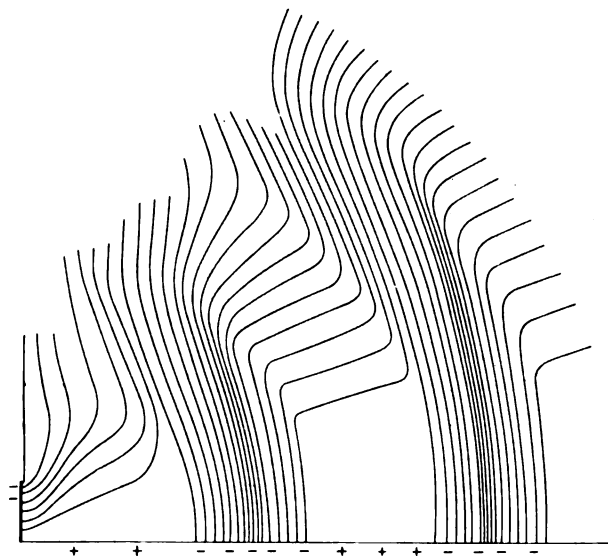


Abb. 33. Superposition von Erd- und Hochfrequenzfeld.

beschaffenheit nach Sommerfeld und Epstein²⁾ ergeben. Unsere Skizzen zeigen den Fall (Abb. 32 und 33), daß die Antenne einmal gerade das positive, das andere Mal das negative Maximum ihrer Ladung besitzt. Es ist dabei angenommen, was ja tatsächlich näherungsweise gilt, daß die durch die Hochfrequenz erzeugten Feldstärken in der Nachbarschaft der Antenne von gleicher Größenordnung sind, wie die Feldstärken des Erdfeldes. Man erkennt aus den Skizzen recht gut, welche Deformationen das Erdfeld erleidet, wenn es von den elektromagnetischen Wellen durchsetzt wird. In der Strahlungsrichtung bauchen sich die Kraftlinien aus, um sich nach dem Passieren jeder Welle wieder zu strecken.

Darüber, ob die ausgehenden elektromagnetischen Wellen, dadurch daß sie sich in einem elektrostatischen Feld ausbreiten, dem Kerrphänomen ähnlichen Wirkungen unterliegen, kann man gegenwärtig nichts aussagen.

Nach dieser ausführlicheren Besprechung der bei einer geerdeten Linearantenne vorliegenden Verhältnisse können die Feldstörungen in der Nachbarschaft einer geerdeten Schiffsantenne und einer Schirmantenne, die ja nur Modifikationen des ersten Falles vorstellen, kurz behandelt werden.

¹⁾ K. Pearson u. A. Lee, Phil. Transaktionen 139, A 159, 1900.

²⁾ P. Epstein, Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie 1910, Bd. 4, 176.

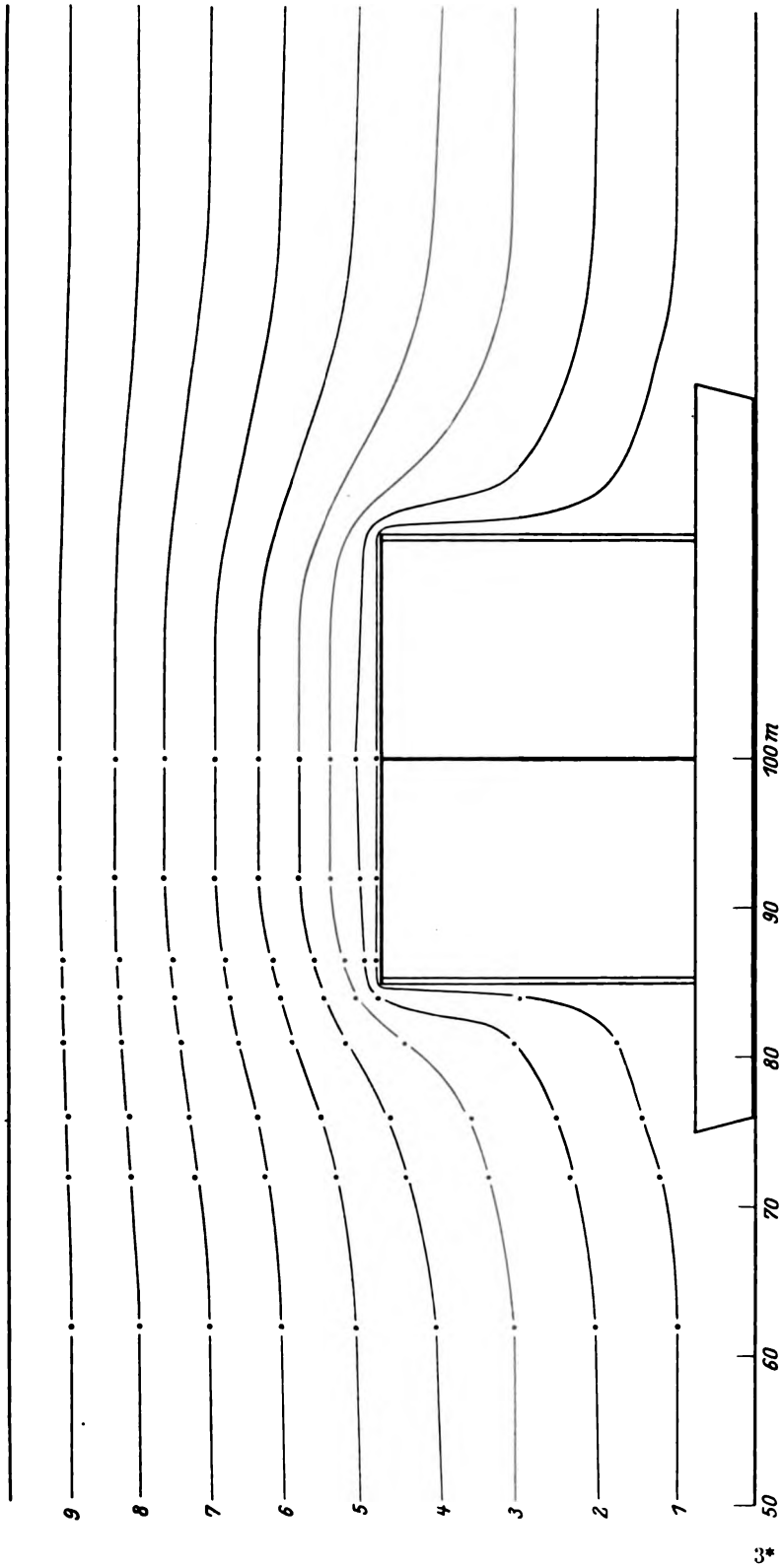


Abb. 34. Schiffsantenne.

Schiffsantenne.

Bei dem Potentialflächendiagramm (Abb. 34) der in der Abbildung 35 wiedergegebenen Schiffsantenne ist ersichtlich, daß die höchsten Gefällwerte in der Nachbarschaft der Masten auftreten. Daß also auch die Zahl der Kraftlinien, die in der Antenne münden, relativ klein sein wird.

Schirmantenne.

Bei der Schirmantenne, deren Modell mit 6 Schirmdrähten von je 12,5 cm Länge, die 19,5 cm über dem Boden enden, versehen ist (Abb. 36), zeigt das Diagramm (Abb. 37), daß die Potentialflächen unter die Schirmdrähte einbiegen, also auch einige Kraftlinien auf der Unterseite einmünden müssen. Je größer der Durchmesser des

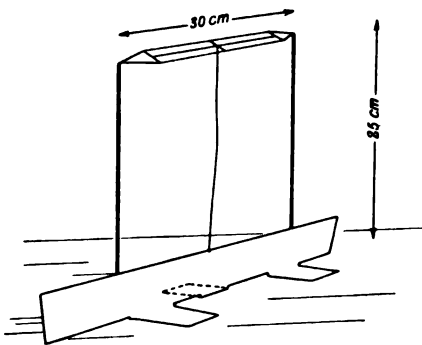


Abb. 35. Modell der Schiffsantenne.

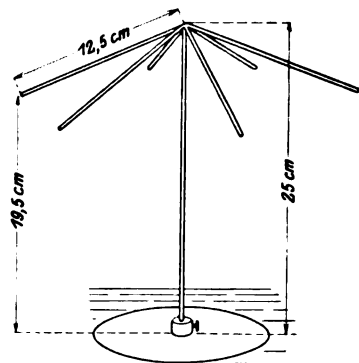


Abb. 36. Modell der Schirmantenne.

Schirmes und je geringer der Neigungswinkel der Drähte ist, desto größer muß die Zahl der auf der Antenne endenden Kraftlinien sein. Bei einer Schirmantenne von den hier angegebenen Abmessungen besitzt der zugehörige Antennenluftquerschnitt ca. einen Radius gleich der Antennenhöhe.

Antenne mit Ausgleich gegen Atmosphäre.

Als zweiter Fall möge nunmehr der erörtert werden, daß der Antennenleiter für statische Spannungen von Erde isoliert ist, aber gegen die Atmosphäre eine Ausgleichsmöglichkeit besitzt, daß er also, wenn man den Ausdruck wählen darf, „an Luft“ liegt.

Der Luftausgleich kann dabei aus mehrerlei Ursachen begründet und begünstigt sein.

Außer der normalen Leitfähigkeit der Luft kann einmal der Hallwachseffekt mitwirken. Ultraviolettes Licht, das die Oberfläche des Antennenmetalles trifft, läßt Elektronen aus der Antenne austreten, so daß die Antenne positiv geladen zurückbleibt. Je nach dem Oberflächenmaterial, dem Zustand der Leiter und der Stärke

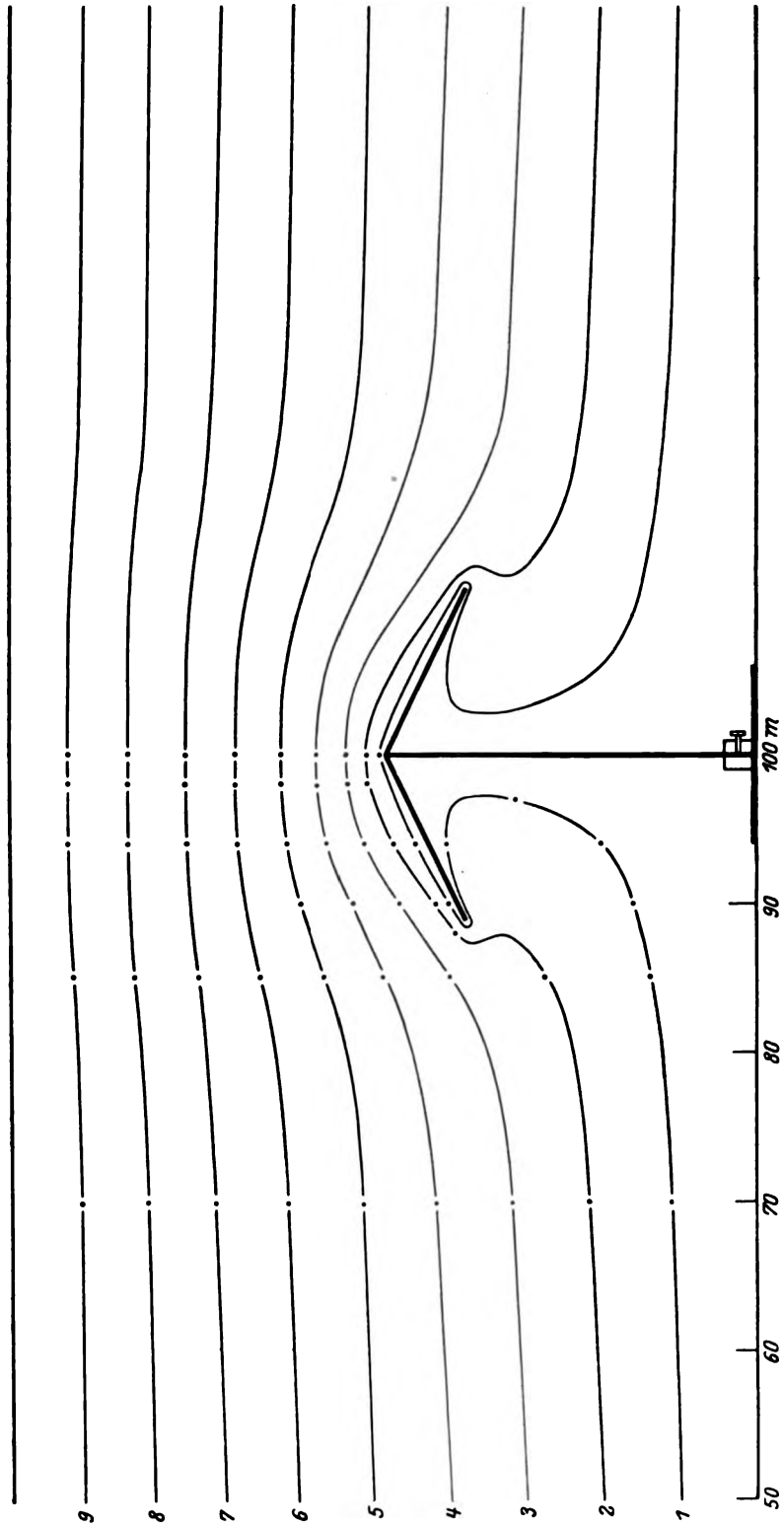


Abb. 37. Schirmantenne.

der ultravioletten Strahlung wird dieser Effekt von verschiedener Bedeutung sein. In der Tat konnte Weise¹⁾ die mit Transformator und ballistischem Galvanometer gegen Erde beobachteten Entladungsströme eines an einer 24,5 m hohen Stange verspannten Drahtes steigern, wenn er die obersten Teile des Leiters mit verschiedenem Material, Zink oder Kohle versah, oder wenn er die oberen Teile des Leiters mit einem Scheinwerfer bestrahlte. (In der angegebenen Arbeit wird die Wirkung der Bestrahlung auf den Lenardeffekt zurückgeführt.) Leider läßt das dort zahlreich angeführte Zahlenmaterial, wegen der nicht einwandfreien Meßmethode, keinerlei quantitative Aussage zu.

Eine weitere wichtige, in den folgenden Abschnitten ausführlich dargelegte Ausgleichsursache bilden die Induktionen der in der Luft verbreiteten radioaktiven Substanzen. Solange eine Feldverteilung derart besteht, daß sich der Antennenleiter

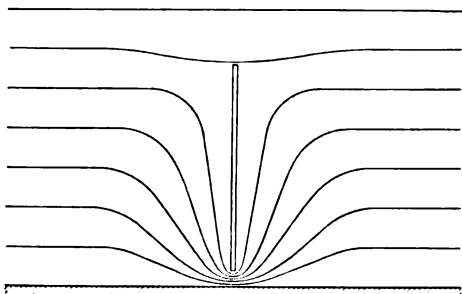


Abb. 38. Antenne liegt an Luft.

namentlich mit seinem oberen Ende negativ elektrisch gegenüber der Umgebung erweist, werden sich die radioaktiven Induktionen auf seiner Oberfläche niederschlagen und die angrenzende Luft ionisieren. Da die negativen Ionen unter dem Einfluß des Feldes abgestoßen, die positiven aber angezogen werden, ladet sich die Antenne positiv auf.

Wenn man von den Strömen innerhalb der einzelnen Elemente der Antenne absieht, und man annimmt, daß der Schwerpunkt des Ausgleiches in dem oberen Teile liegt, so ergibt sich als Charakter der Feldstörung ein Potentialflächenverlauf nach Abb. 38. Durch den Antennenleiter geht eine bestimmte Potentialfläche. Alle niederen Potentialflächen werden unter der Antenne in dem Isolationsraum zusammengedrängt. Zwischen der Antenne und der Erde besteht eine umso größere Spannungsdifferenz, je höher der Ausgleichsschwerpunkt liegt.

Bei dieser, wie schon auf Seite 36 bemerkt, bei uns nicht häufigen Erscheinung, daß die Antenne gegen den Boden gut isoliert ist und ein guter Luftausgleich besteht, kann man aus der Antenne mehr oder weniger kräftige Funken gegen Erde ziehen. (Vergl. Anmerk.)

In Wahrheit wird nun, je nach den jeweiligen Verhältnissen, ein zwischen den Extremen liegender Mittelfall gegeben sein. An derselben Antenne kann man bei hohem atmosphärischen Potentialgefälle, wenn die Erdung gut ist, am oberen Ende leuchtende Büschelentladungen wahrnehmen, während bei leidlicher Bodenisolierung und gutem Luftausgleich die unteren Teile des Leiters sprühen und sich durch lebhaftes Funken gegen Erde entladen.

¹⁾ G. Weise, Dissertation, Rostock 1904.

Anmerkung: Läßt man etwa, wie bei alter Markonischaltung, den Funken in einer Funkenstrecke übergehen, so muß infolge des notwendigerweise oszillatorischen Charakters der Entladung bei dem Funkenübergang eine Wellenfolge ausgestrahlt werden.

Ballon- und Luftschiffantennen.

Der Vollständigkeit halber und um anderweit publizierte Potentialflächendiagramme von geladenen Leitern, die sich in größerem Abstände vom Erdboden befinden¹⁾, zu berichtigen, sind im folgenden noch drei Skizzen von dem Feldverlauf um ein Luftschiff mit damit leitend verbundener Antenne wiedergegeben. Nach den Gesetzen der Elektrostatik nimmt ein ungeladener Leiter, der sich im Feld verschiebt, stets das Potential der Stelle an, an welcher er sich befindet (Abb. 39). Bei einem Ballon oder Luftschiff können aber aus verschiedenen

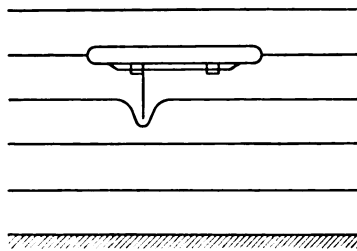


Abb. 39. Luftschiff, ausgeglichen.

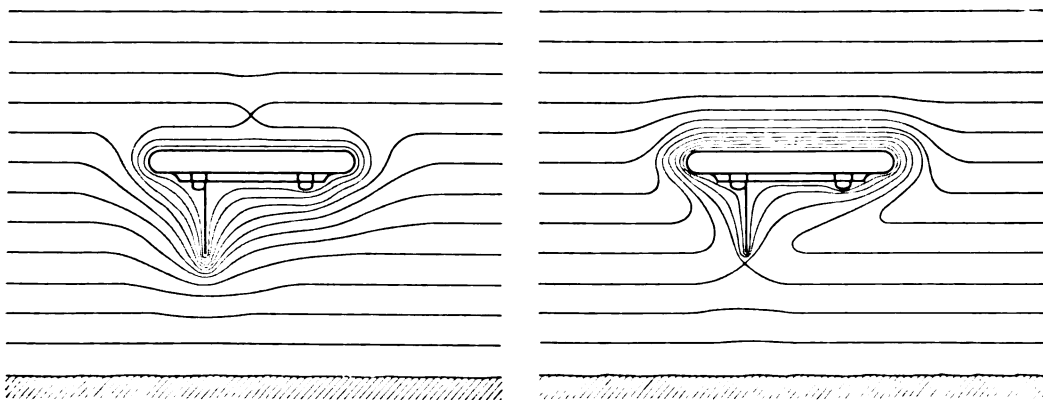


Abb. 40. Luftschiff mit positiver Eigenladung.

Abb. 41. Luftschiff mit negativer Eigenladung.

Gründen Eigenladungen und damit Feldstörungen auftreten. Der Verlauf der Potentialflächen ist dann so, daß das Luftschiff von einigen Potentialflächen ganz eingehüllt ist, von denen eine mit einer der Erdkugel zugehörigen Potentialfläche zusammenhängt. Bei negativer Eigenladung liegt diese gemeinsame Fläche zwischen Erde und Luftschiff, bei positiver Eigenladung über dem Luftschiff (Abb. 40 u. 41). Soweit die bisher angestellten Messungen ergeben, besitzt das Luftschiff die Tendenz, sich während der Fahrt positiv aufzuladen.²⁾

¹⁾ M. Dieckmann, Prometheus, Jahrg. XIX, 785. K. Kurz, Abhandl. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissenschaft. Math. Phys. Klasse, XXV. Bd., 1. Abh.

²⁾ M. Dieckmann, Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 1911, Heft 1.

II. Leitfähigkeit der Luft in der Nachbarschaft einer Antenne.

Niederschlag radioaktiver Substanzen auf Drähten.

Elster und Geitel¹⁾ haben in einem ihrer grundlegenden Versuche gezeigt, daß sich auf negativ geladenen in der Luft frei ausgespannten Drähten radioaktive Substanzen niederschlagen. Auch wenn man einen spannungslosen Draht so in das Erdfeld bringt, daß elektrische Kraftlinien in größerer Anzahl auf ihm enden, müssen die in der Luft überall suspendierten radioaktiven Zerfallsprodukte der gasförmigen Emanationen, die radioaktiven „Induktionen“, die sich scheinbar, wie positive Ionen verhalten, auf den Draht zuwandern und sich an seiner Oberfläche niederschlagen²⁾. Die Antennengebilde der drahtlosen Telegraphie erfüllen hiernach beide Bedingungen. Sie sind bei Aufladung mit Hochfrequenz wenigstens zeitweilig auf hohe negative Spannungen geladen und stellen in der ganzen Zwischenzeit ein dem natürlichen Erdfeld ausgesetztes Leitergebilde vor. Es ist also, wie schon im vorigen Abschnitt kurz angeführt wurde, zu erwarten, daß sie an ihrer Oberfläche mit radioaktiven Substanzen behaftet sind. Da ein derartig mit Induktionen überzogener Leiter um sich einen Luftzylinder wesentlich größerer elektrischer Leitfähigkeit, als sie sonst der umgebenden Luft zukommt, mit einem Halbmesser gleich der Reichweite der α -Strahlen haben muß, so erschien im Hinblick auf die Vorgänge beim Senden und Empfangen elektrischer Wellen eine experimentelle Untersuchung des ungefähren Betrages dieser Leitfähigkeitserhöhung wünschenswert zu sein.

Mit entgegenkommendster Genehmigung des Herrn Prof. Ebert führte auf meine Veranlassung Herr Lehramtskandidat Kernstock in Anlehnung an die Kurzsche Abhandlung diesen Teil der Arbeit selbständig durch.

Methode.

Zum Nachweise der radioaktiven Stoffe diente die übliche elektrische Methode. Der zu untersuchende Draht wird nach der Exposition an der Antenne aufgerollt in den Zerstreungsraum eines Elektrometers gebracht und der zeitliche Spannungsrückgang an dem vorher aufgeladenen Elektrometer beobachtet. Der Spannungsmessbereich dieses Elektrometers muß dabei so beschaffen sein, daß in dem Zerstreungsraum bei der betreffenden Untersuchung „Sättigungsstrom“ herrscht, d. h. das Potentialgefälle zwischen dem „Zerstreungskörper“ und dem aktivierten

¹⁾ Elster u. Geitel, Phys. Zeitschr. 4, 526, 1903; 4, 96, 1902; 3, 305, 1902.

²⁾ K. Kurz, Abhandl. d. Kgl. Bayr. Akademie der Wissensch. Math. Phys. Klasse, XXV. Bd., 1. Abh.

Draht muß so groß sein, daß alle in der Zeiteinheit in dem Felde gebildeten Ionen eines Vorzeichens, ehe sie durch Wiedervereinigung sich haben neutralisieren können, an den Zerstreungskörper getrieben werden. Aus dem für die Zeit t in Sekunden ermittelten Spannungsrückgang ΔV in Volt und der Kapazität des Elektrometers mit Zerstreungskörper C in cm st. E. kann man den Betrag des Sättigungsstromes, den die im Zerfall begriffenen radioaktiven Substanzen unterhalten können, einfach berechnen. Bedeutet I das Maß des Sättigungsstromes in st. E., so gilt einfach

$$I = C \frac{\Delta V}{t \cdot 300} \text{ st. E. 1)}$$

Kennt man ferner das Volumen R des vom Feld erfüllten Raumes in dem pro cm^3 in der Sekunde im Mittel q Ionenpaare erzeugt werden, die sämtlich zum Zerstreungskörper wandern, und bedeutet ϵ die Ladung eines Iones, also nach Einleitung Seite 8 $4,7 \cdot 10^{-10}$ st. E., so muß für den Betrag des Sättigungsstromes andererseits die Beziehung gelten, daß

$$I = R \cdot q \cdot \epsilon \text{ st. E. . . . 2)}$$

Aus 1 und 2 kann man den Wert für q ermitteln. Es folgt:

$$q = \frac{C \cdot \Delta V}{300 \cdot R \cdot \epsilon \cdot t} \text{ Ionen . . . 3)}$$

Ermittelt man so die Zahl der Ionenpaare, die der dem Zerstreungskörper zugekehrte Teil der Drahtwindungen pro Sekunde erzeugt zu bestimmten aufeinanderfolgenden Zeiten (Abklingungskurve), so kann man einen Rückschluß auf die Zahl der von der ganzen aktivierten Oberfläche erzeugten Ionenpaare machen für die Zeit rückwärts, als der Draht noch im Freien exponiert war. Für die Ionenbildungszahl in dem umgebenden Luftzylinder ergeben sich dann wenigstens ungefähre Überschlagswerte.

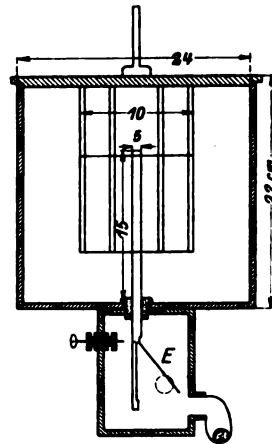


Abb. 42. Elektrometer mit Zerstreungsraum nach Schmidt.

Beschreibung der Anordnung.

Elektrometer.

Das bei der Untersuchung benützte Elektrometer mit Zerstreungsraum Schmidtscher Konstruktion¹⁾ ist in Abbildung 42 im schematischen Schnitt und in Abbildung 43 in einer Außenansicht wiedergegeben. Der durch einen Hartgummi-stopfen isolierte Träger des Elektrometers trägt nur ein Aluminiumblättchen. An seinem freien Ende ist dann ungefähr ein 10 mm langer äußerst dünn ausgezogener Glasfaden angekittet, dessen Wandern durch das Gesichtsfeld eines Mikroskopes von etwa 50 facher Vergrößerung und 100 teiliger Okularskala beobachtet wird.

¹⁾ H. W. Schmidt, Phys. Zeitschr. 6, 561, 1905.

Zur Aufladung dient ein besonderer in das Instrument isoliert eingeführter umlegbarer Ladestift. Die Trocknung geschieht durch ein seitlich kommuniziertes Glaskölbchen mit metallischem Natrium. In dem auf das Elektrometergehäuse fest aufgebrauchten, außen zur Vermeidung photoelektrischer Effekte schwarz gebrannten Zerstreungsraum von 24 cm Durchmesser und 22 cm Höhe ragt der 15 cm lange und 5 mm starke Zerstreungskörper aus Messingdraht. Der gut eingespannte Deckel trägt an der inneren Seite symmetrisch zur Achse des zylindrischen Raumes 6 Messingstäbe, die mit zwei versteifenden Messingblechringen die Spule für den zu prüfenden Draht bilden. Der Durchmesser dieses Spulenkörpers beträgt 10 cm. Um den im Freien exponierten Draht möglichst ohne Zeitverlust aufspulen zu können, hat der Deckel auf der Außenseite axial einen Ansatz, der in einer kleinen mit Übersetzung laufenden „Schwungmaschine“ eingeklemmt werden kann.

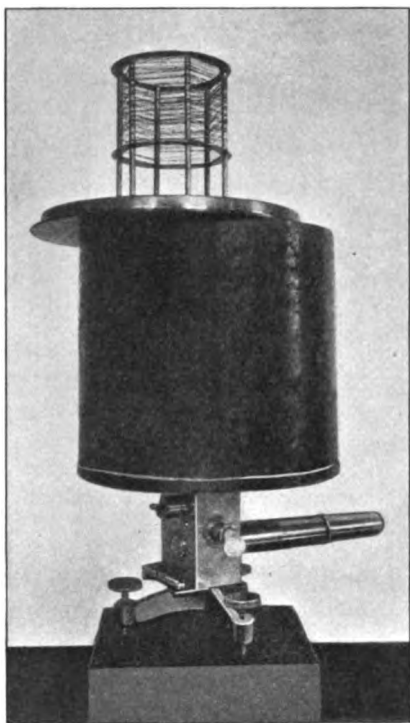


Abb. 43. Äußeres des Elektrometers.

Die Eichung des Instruments hinsichtlich V und C Formel 3 geschah in der üblichen Weise.

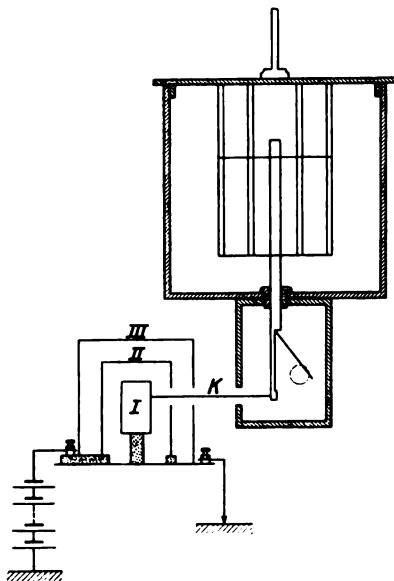


Abb. 44. Kapazitätseichung.

Spannungseichung.

Da es nach Schmidt¹⁾ bei Beobachtung von Sättigungsströmen nicht empfehlenswert ist, eine direkte Eichung zwischen Skalenteilausschlägen und Spannungsbeträgen herzustellen, wurde nach der von ihm angegebenen Methode verfahren.

Man ladet zunächst das Elektroskop auf und ruft mit Hilfe einer konstanten Strahlungsquelle, hier einem auf dem Deckel des Zerstreungsraumes aufgesetzten

¹⁾ H. W. Schmidt, Phys. Zeitschr. 7, 157, 1906.

Radiumpräparat, eine Zerstreung hervor. Alsdann beobachtet man die Zeiten, die der Elektrometerzeiger gebraucht, um von dem äußersten benutzten Skalenteil zu den folgenden (hier jedem fünften) zu gelangen. Diese Zeiten sind proportional den Spannungsdifferenzen, die zwischen den Grenzskalenteilen der jeweils betrachteten Intervalle bestehen. Durch einfache Interpolation kann man die Potentiale für sämtliche dazwischenliegende Teilstriche erhalten. Die Grenzskalenteile wurden mit Hilfe einer Bornhäuser Akkumulatorenatterie und eines größeren Präzisionswestonvoltmeters dreimal, zweimal vor Beginn und einmal nach Beendigung aller Versuche festgelegt. Da es bei den Sättigungsstrommessungen nie auf die Beobachtung direkter Spannungen, sondern nur auf die Ermittlung von Spannungsunterschieden ankommt, ist diese Spannungseichung relativ unwesentlich. Die Genauigkeit der Methode beruht vielmehr namentlich auf der Langsamkeit, mit der das Blättchen bei der Eichung wandert. Tabelle 6 enthält die Ergebnisse von 5 so angestellten Beobachtungsreihen.

Tabelle 6.

Spannung in Volt	Intervall der Skalenteile	Zeit in Sekunden
331,5	15—20	18,15
	20—25	18,43
	25—30	18,70
	30—35	18,95
	35—40	19,20
	40—45	19,42
	45—50	19,65
	50—55	19,85
	55—60	20,05
	60—65	20,24
312,5	65—70	20,40
	70—75	20,55
	75—80	20,70
	80—85	20,81
	85—90	20,93

Kapazitätseichung.

Die Kapazitätsbestimmung wurde nach der Methode von Harms¹⁾ mit einem von Harms angegebenen Normalkondensator bekannter Kapazität c und Bindungszahl b ausgeführt.

Bei der Messung bildet man zunächst aus dem Elektrometer und dem Zylinder I des Harmschen Kondensators (Abb. 44) ein System. Da bei völlig zusammengesetzten Instrumentarium, für welches sinngemäß der Kapazitätswert bestimmt werden muß, zunächst das Innensystem des Elektrometers unzugänglich ist, so benutzte Herr Kernstock den Vorteil, durch die sonst mit dem Trockengefäß verschlossene Öffnung den Kontakt mit dem Blättchenträger und Zerstreungskörper

¹⁾ Harms, Phys. Zeitschr. 5, S. 47, 1904.

herstellen zu können. Die Kapazität dieser Teile in Verbindung mit dem Zylinder I besitze den Wert K . Zur Ermittlung von K führt man folgende Operationen aus.

Während K geerdet ist, verbindet man Zylinder II mit dem Pole einer anderen Pols geerdeten und mit Westonvoltmeter geeichten Hochspannungsbatterie von $V_1 = 400$ Volt Spannung. Auf Zylinder I wird durch Influenz eine Elektrizitätsmenge $b V_1$ gebunden. Isoliert man nun das System K und erdet Zylinder II, so wird die bis dahin gebundene Elektrizitätsmenge $b V_1$ frei und das System K auf die am Elektrometer selbst abzulesende Spannung V_2 geladen. Es gilt dann

$$b V_1 = K V_2 \quad \text{oder} \quad K = b \frac{V_1}{V_2}.$$

Unter Verwertung von K kann man die gesuchte Kapazität C dann so erhalten: Zylinder II bleibt dauernd an Erde und K wird zu einer Spannung V_3 aufgeladen, sodaß also auf K eine Elektrizitätsmenge von $K V_3$ gebunden ist. Der Harmsche Kondensator wird nun weit vom Elektrometer entfernt und dadurch das System getrennt. Da hierdurch die leitenden Massen in eine andere gegenseitige Konfiguration kommen, ändert sich der Elektrometerausschlag und es bleibt auf dem Elektrometer eine Elektrizitätsmenge $C \cdot V_4$. Entlädt man nun das Elektrometer und vereinigt darauf das System K wieder, so verteilt sich die Ladung des Harmschen Kondensators auf K und lädt es zu einer Spannung V_5 auf, die am Elektrometer abgelesen werden kann. Die Bilanz dieser Operation ist

$$K V_3 - C V_4 = K V_5$$

Daraus ergibt sich der gesuchte Wert C als

$$C = K \frac{V_3 - V_5}{V_4} \text{ cm.}$$

Als Mittel aus 10 Einzelmessungen folgt für K der Wert 51,3 cm und für C 6,31 cm.

Eichung auf Ionenzahl.

Die eigentliche bei den Messungen benutzte Eichentabelle wurde so angelegt, daß berechnet wurde, wie viele niedergeschlagene Ionen dem Rückgang des Blättchens um einen Skalenteil an den verschiedenen Stellen der Skala entsprechen. Dieser Betrag wurde in Intervallen von je 5 Skalenteilen als konstant angesehen.

Die Ablesungen beschränken sich nach Möglichkeit auf Beobachtungen in dem mittleren Bereich zwischen Skalenteil 30 und 75. Da dem Skalenteil 30 eine Spannung von 331,3 Volt zukommt und dem Skalenteil 75 eine Spannung von 312,5 Volt, umfaßt der Meßbereich eine Spannungsänderung von 18,8 Volt.

Bei der Entladung mit radioaktiven Substanzen vollzog sich dieser Spannungsrückgang des vorher aufgeladenen Elektroskopes nach Tabelle 6 in 178,3 Sekunden. Der Spannungsverlust des Elektroskopes betrug also pro Sekunde $\frac{18,8}{178,3}$ Volt. Aus Tabelle 6 läßt sich entnehmen, daß beispielsweise zum Durchlaufen des Inter-

valles zwischen dem 55,0 bis 60,0 Skalenteil $t_5 = 20,05$ Sekunden erforderlich war. Dieses Intervall umfaßt also eine Spannungsänderung von

$$\frac{18,8}{178,3} \cdot 20,05 \text{ Volt.}$$

Auf einen Skalenteil des Intervalles trifft der fünfte Teil, also

$$\frac{18,8}{178,3} \cdot \frac{20,05}{5} \text{ Volt.}$$

Allgemein entspricht somit einem Skalenteil ein Spannungsabfall ΔV von

$$\Delta V = \frac{18,8}{178,3 \cdot 5} \cdot t_5 = 0,021 t_5 \text{ Volt} \dots \dots \dots 4)$$

Nach Abschnitt II Gleichung 3) gilt

$$q = \frac{C \cdot \Delta V}{300 \cdot R \cdot \epsilon \cdot t} \frac{\text{Ionen}}{\text{sec}} \dots \dots \dots 3)$$

Ermittelt man also nach 4) aus Tabelle 6 für die einzelnen Intervalle den entsprechenden Spannungsrückgang ΔV und führt die Werte in 3) ein, so erhält man die jedem Skalenteil entsprechende niedergeschlagene Ionenzahl. Dabei ist aber zweierlei zu beachten.

Erstens ist das Volumen R nicht der Inhalt der gesamten Ionisierungskammer, sondern nur der vom Feld erfüllte Raum. Da bei der Herstellung der Ionisierungskammer auf eine gute Definition von R nicht Rücksicht genommen war, ist der der folgenden Berechnung zugrunde gelegte Wert von 1180 cm, der einem Luftzylinder vom Querschnitte der Drahttrommel und der Höhe des Zerstreungsstabes entspricht, einigermaßen unsicher. Die Unbestimmtheit dieses Wertes bleibt glücklicherweise für das Endergebnis belanglos.

Zweitens ist zu beachten, daß die Drahttrommel das Feld nur mit ihrer Innenseite begrenzt, daß also nur ein Teil der vom Draht ausgesandten α -Teilchen in das Feld gelangt. Es wurde näherungsweise angenommen, daß etwa die Hälfte aller α -Teilchen in dem feldfreien Teil des Gefäßes ionisierend wirkt, also die Hälfte aller gebildeten Ionen für den Nachweis verloren geht. Der sich aus 3) berechnende Wert bezeichnet also nur die Hälfte der pro Sekunde erzeugten Ionen. Unter Rücksichtnahme auf diese spezielle Versuchsanordnung ist damit endgültig zu setzen

$$q' = \frac{2 \cdot C \cdot \Delta V}{300 \cdot R \cdot \epsilon \cdot t} \frac{\text{Ionen}}{\text{sec}} \dots \dots \dots 5)$$

Setzt man in 5) die Werte für C , R und ϵ als 6,31 cm, 1180 cm³, und $4,7 \cdot 10^{-10}$ st. E. ein, so ergibt sich

$$q' = 7,59 \cdot 10^4 \frac{\Delta V}{t} \frac{\text{Ionen}}{\text{sec}}$$

Für die einzelnen Intervalle folgt als Zusammenstellung Tabelle 7, die die Eichung der Skala nach niedergeschlagenen Ionenzahlen vorstellt. Dividiert man die Ionenzahl pro Skalenteil durch die Zeit in Sekunden, die zur Durchwanderung dieses Skalenteiles erforderlich war, so erhält man das gesuchte q' , d. h. die Zahl der pro sec im cm³ neugebildeten Ionen.

Tabelle 7.

Intervall	ΔV	$q' \times t$
15—20	0,382	$2,19 \times 10^4$
20—25	0,388	$2,95 \times 10^4$
25—30	0,394	$3,00 \times 10^4$
30—35	0,398	$3,03 \times 10^4$
35—40	0,404	$3,07 \times 10^4$
40—45	0,410	$3,11 \times 10^4$
45—50	0,415	$3,15 \times 10^4$
50—55	0,420	$3,18 \times 10^4$
55—60	0,424	$3,21 \times 10^4$
60—65	0,428	$3,24 \times 10^4$
65—70	0,431	$3,27 \times 10^4$
70—75	0,434	$3,30 \times 10^4$
75—80	0,436	$3,32 \times 10^4$
80—85	0,438	$3,34 \times 10^4$
85—90	0,440	$3,36 \times 10^4$

Ausspannen und Einholen des Drahtes.

Die Aktivierung der Drähte erfolgte an Mast 9 der Sendstation, solange er noch nicht mit Schirmantenne ausgerüstet war. Ein ungefähr 40 m langer 0,3 mm starker Kupferdraht wurde an einer Schnur ohne Ende, wie es Skizze 45 erkennen läßt, an den äußersten Punkt der oberen Rahe aufgeheißt. Die Schnur wurde durch drei Ringe A, B, C geführt; Ring A und B waren an kurzen mit etwa 10 m Abstand in den Boden getriebenen Pfählen festgemacht, ihre Entfernung vom Antennenmast betrug ca. 6 m. Die Schnur mußte so weit auseinandergehalten werden, da bei der großen Höhe leicht ein Verschlingen eintritt. Um ein Verdrillen des Drahtes mit der Schnur zu verhüten, wurde der Draht an dem freien Eckpunkt eines aus Holzstäbchen gebildeten Dreiecks, dessen eine Seite an der Schnur befestigt war, eingehakt. Gegen Holz und Schnur war der Draht oben durch einen Gockelträger isoliert. Das untere Ende wurde möglichst weit vom Mast weggeführt, so daß der Draht frei exponiert war. Das Ende lag an Erde, wenn der Draht durch das Erdfeld allein aktiviert werden sollte, oder es war an den Schwingungskreis der Sendstation angeschlossen, wenn der Draht mit Hochfrequenz beschickt werden sollte. Nach Schluß der Aktivierung wurde der Draht auf die schon beschriebene Trommel auf der Innenseite des Deckels der Ionisierungskammer aufgespult. Der Deckel wurde zu dem Zwecke mit dem äußeren Zapfen auf die aufrecht an einem Tisch festgeklemmte Schwungmaschine gesteckt und unter raschem Drehen der an die Trommel gehakte Draht eingeholt. Damit eine Überlagerung mehrerer Drahtwindungen nicht stattfand, wurde der Draht mit einem Glasstäbchen an die richtige Stelle geleitet. Besondere Versuche hatten ergeben, daß der Verlust an radioaktiven Substanzen dabei höchstens 5 bis 6 % betragen kann. Beim Aufrollen blieb der Draht dadurch gespannt, daß die Schnur in den drei Ringen soviel Reibung hatte, daß sie gerade ohne größere Anstrengung nachgab. Der aufgerollte Draht wurde unverzüglich in die Ionisierungskammer des in Schuppen 4 aufgestellten Elektrometers gebracht. Es

konnte dann sofort das Wandern des Elektrometerblättchens durch das Gesichtsfeld des Mikroskops beobachtet werden. Isolationsmessungen und Kontrollbeobachtungen wurden tunlichst oft angestellt und bei der Auswertung berücksichtigt.

Konstanten des Hochfrequenzkreises.

Die drahtlos-telegraphische Anordnung, die gestattete, den vertikal gespannten Draht als Sendeantenne zu benutzen, ist der in Skizze 9 in der Beschreibung der Station auf Seite 15 beschriebene Braunsche Sender. Da eine gut funktionierende Anordnung für ungedämpfte Schwingungen nicht zur Verfügung stand, empfahl sich der relativ stark strahlenden Linearantenne wegen diese Braunsche Erregung. Die Konstanten des Schwingungskreises wurden nicht variiert und hatten folgende Werte: Die aus zwei in Serie geschalteten Leydener Flaschen bestehende Kapazität C des Primärkreises betrug 0,0023 Mf , die Selbstinduktionsspule L besaß 3970 cm . Daraus ergibt sich als λ nach der Formel $\lambda = 6 \pi \sqrt{LC} \cdot 10^8$ m der auch mit einem geeichten Wellenmesser kontrollierte Wert von $\lambda = 180$ m.

Da die Antennenlänge von 40 m dem Betrage von $\frac{\lambda}{4}$ sehr nahe kommt, genügten wenige Windungen einer Verlängerungsspule zur Abstimmung des galvanisch lose mit dem Primärkreis gekoppelten Drahtes auf die Grundschwingung.

Als Dämpfungskoeffizient ergab sich ein Wert von etwa 0,15, es konnte also angenommen werden, daß etwa 20 bis 30 Schwingungen von merkbarer Spannungsamplitude auf der Antenne vorhanden waren. Bei der stets möglichst gleichgehaltenen Tourenzahl der Turbine fanden pro Sekunde 20 Funkenübergänge statt. Die Zeit, während der die Antenne pro Sekunde unter Schwingungen stand, ergibt sich also zu

$$0,6 \cdot 25 \cdot 20 \cdot 10^{-7} \text{ sec oder } 3 \cdot 10^{-5} \text{ sec,}$$

d. h. der Bruchteil der Zeit, in welcher die Antenne unter Schwingungen stand, ist zwar verschwindend klein gegenüber der Zeit, in welcher sie durch die am anderen

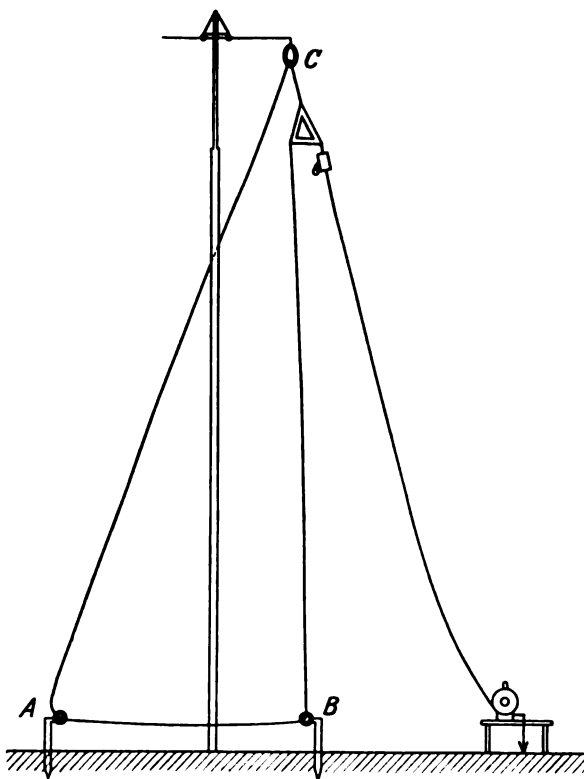


Abb. 45. Aktivierung des Drahtes.

Ende geerdete Koppelung an Erde lag. Immerhin entsprechen diese Verhältnisse denen der drahtlostelegraphischen Praxis.

Bei 170 Watt Primärenergie konnte in dem Registrierschuppen 7 die von dem Versuchsdraht ausgestrahlte Energie mit 1 bis 2 cm Galvanometerausschlag registriert werden.

Untersuchung.

Die Ausführung der Untersuchungen verursachte mehr Schwierigkeiten, als anfänglich vorauszusehen waren. Eine nicht geringe Zahl begonnener Expositionen wurde unbrauchbar, da sich während des Versuches das Wetter ungünstiger gestaltete. Bei Wind erforderte das Einholen des Drahtes gesteigerte Aufmerksamkeit;

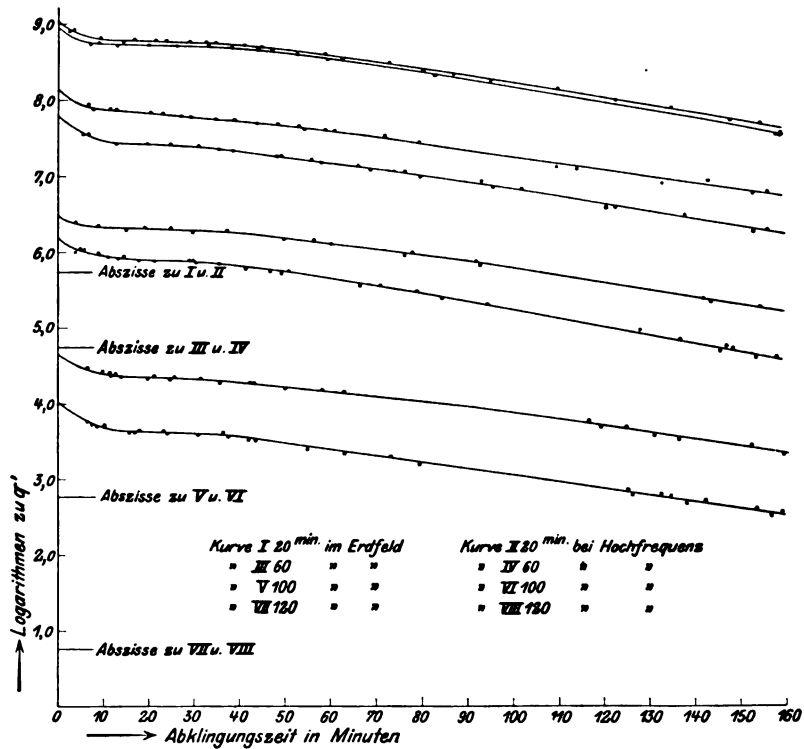


Abb. 46.

in mehreren Fällen war es nicht zu vermeiden, daß der Draht unklar wurde oder riß. Niederschläge und Gewitter schlossen weitere Exposition aus. In den meist ruhigen und klaren Abendstunden traten der größeren relativen Feuchtigkeit wegen Unannehmlichkeiten dadurch auf, daß sich die Isolation unkontrollierbar änderte und die Aufladung des Elektrometers nicht genügend gelang.

Abklingungskurven im Erdfeld und bei Hochfrequenz.

Bei der graphischen Darstellung der beobachteten Abklingungskurven (Abb. 46) wurden des gradlinigeren Verlaufes wegen die Logarithmen der pro cm^3 und sec

gebildeten Ionenzahlen als Ordinaten aufgetragen. An sich ist es, wie Schmidt¹⁾ und Kurz²⁾ gezeigt haben, möglich, die Kurven auf das prozentische Vorhandensein der verschiedenen radioaktiven Niederschläge zu analysieren. Es ist nur erforderlich, die Abklingungskurven über vier Stunden hinaus zu verfolgen, eine Zeit, in der praktisch alle Radiuminduktionen verschwunden sind. Nach diesen vier Stunden wirken allein noch die Thorprodukte. Man kann deren Anteil an der Ionisation für frühere Zeitpunkte berechnen und erhält als Differenz der beobachteten Gesamtionisation und der Thorionisation den auf die Radiuminduktionen fallenden Anteil. Es ist so auch möglich, den Betrag der Ionisation für die Zeit in welcher der Draht noch exponiert war, rechnerisch festzustellen. Da es sich bei dieser Untersuchung lediglich um die Ermittlung von Größenanordnungen handelt, ist von der Zerlegung abgesehen und der Anfangswert durch graphische Extrapolation bestimmt worden. Die Kurven sind willkürlich übereinander angeordnet. Die zu jeder Kurve gehörige Abszisse ist deshalb links besonders vermerkt.

Im allgemeinen wurde so verfahren, daß eine gleich lange Exposition des Drahtes unter dem Erdfeld allein und unter Hochfrequenz möglichst an demselben Tage bei gleicher Wetterlage zustande kam. Die Expositionsdauer T betrug 20, 60, 100 oder 120 Minuten. Bei der Aktivierung durch das Erdfeld allein ergeben sich die in der beistehenden Tabelle 8 aufgeführten Anfangswerte.

Tabelle 8.

Aktivierung im Erdfeld allein

Aktivierungsdauer T	Zahl der pro cm ³ und sec im Feld erzeugten Ionen q'
20 min	$2,03 \times 10^4$
60 „	$2,93 \times 10^4$
100 „	$5,60 \times 10^4$
120 „	$8,26 \times 10^4$

Die niedergeschlagenen Mengen radioaktiver Substanzen nehmen mit größer werdender Expositionsdauer zu. Wenn die Antenne dauernd im Erdfeld hängt, wird nach einer gewissen Zeit ein stationärer Zustand durch Ablagerung von radioaktiven Substanzen herbeigeführt werden. Dieser Zustand ist erreicht, wenn auf dem Draht radioaktives Gleichgewicht herrscht., d. h. wenn in der Zeiteinheit ebensoviel Substanz verschwindet als abgelagert wird. Dieser Maximalwert stellt sich nach etwa vier Stunden ein. Bei zweistündiger Aktivierung sind etwa 92 % des Maximalwertes erreicht. Wenn man diesen Zuwachs bei der zweistündigen Exposition berücksichtigen darf, ergibt sich für q' ein Maximalwert von

$$q' = 8,92 \cdot 10^4 \frac{\text{Ionen}}{\text{cm}^3 \text{ sec}}$$

¹⁾ H. W. Schmidt, Annalen der Physik 21, S. 627, 1906.

²⁾ K. Kurz, Abh. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissensch. Math. Phys. Klasse, XXV. Bd. I. Abh.

Für die Abklingungskurven der radioaktiven Induktionen, die bei der Beschickung des Drahtes mit Hochfrequenz niedergeschlagen wurden, ergaben sich die in Tabelle 9 verzeichneten Anfangswerte.

Tabelle 9.
Aktivierung bei Hochfrequenz.

Aktivierungsdauer T	Zahl der pro cm^3 und sec im Feld erzeugten Ionen q'
20 min	$1,45 \times 10^4$
60 „	$1,45 \times 10^4$ (?)
100 „	$2,68 \times 10^4$
120 „	$1,58 \times 10^4$

Es ergibt sich daraus, daß entgegen der ursprünglichen Erwartung, ein mal die niedergeschlagenen Mengen stets kleiner sind, als wenn der Draht gleich lange ohne Hochfrequenz exponiert war und daß zweitens die niedergeschlagenen Mengen bei zunehmender Expositionsdauer nicht viel größer werden.

Dieser Experimentalbefund kann in einem gewissen Zusammenhange stehen mit einer Beobachtung, die Houlevigue¹⁾ 1909 machte. Houlevigue untersuchte mit einem Ebertschen Ionenzähler die Umgebung einer $\pm 50\,000$ Volt führenden Hochspannungsleitung und fand, daß die Zahl der positiven und negativen Ionen, die in der Umgebung der untersuchten Leitung vorhanden sind, äußerst gering sei, jedenfalls kleiner als in der umliegenden Gegend.

Die Frage, in wieweit ein vorher allein im Erdfeld aktivierter Draht durch die Beschickung mit Hochfrequenz von der Aktivität befreit werden kann, mit anderen Worten, inwieweit sich eine Antenne nach längerem Senden anders verhält als zuvor, wurde nicht untersucht. Es dürfte von Interesse sein, wenn die hier von Herrn Kernstock gefundenen Ergebnisse von anderer Seite bestätigt und erweitert werden könnten. Eine theoretische Klärung der Verhältnisse erscheint zurzeit noch undurchführbar.

Ionenbildungszahl und Leitfähigkeit in der Nähe der Oberfläche der Antenne.

Das bisherige Material reicht immerhin aus, über den Zustand der Luft in der Umgebung einer Antenne einige Aussagen machen zu können. Wenn man annimmt, daß die Reichweite der für die Ionisation fast ausschließlich in Frage kommenden α -Teilchen maximal 5 cm beträgt, so ist der durch die radioaktiven Anreicherungen beeinflusste Raum durch einen Luftzylinder gegeben, der koaxial mit diesem Halbmesser den Draht umgibt. An den oberen Teilen des Drahtes werden die Anreicherungen stärker sein als an den unteren. Sieht man zunächst hiervon ab und verteilt man die in dem Ionisierungsgefäße pro cm^3 und sec neu gebildeten Ionen gleichförmig

¹⁾ I. Houlevigue, Comptes rendus, 1909, Nr. 25.

auf diesen Zylinderraum, so kommt man zufolge dem Ergebnis: Der Zylinder hat bei 40 m Drahtlänge ein Volumen von

$$\pi \cdot 5,0^2 \cdot 40 \cdot 10^2 = 3,14 \cdot 10^5 \text{ cm}^3.$$

Der Ionisierungsraum besitzt ein Volumen von 1180 cm³. In jedem cm³ wurden maximal pro sec $8,92 \cdot 10^4 \frac{\text{Ionen}}{\text{cm}^3}$, zusammen also

$$1,18 \cdot 8,92 \cdot 10^7 = 1,05 \cdot 10^8 \frac{\text{Ionen}}{\text{sec}}$$

erzeugt. Auf 1 cm³ des die Antenne umgebenden Zylinders kommen also

$$\frac{1,05 \cdot 10^8}{3,14 \cdot 10^5} = 325 \text{ neugebildete Ionen pro sec.}$$

Gibt man die Zahl der pro cm³ und sec normal im Freien entstehenden Ionenanzahl mit rund 10 an, einem Wert, der bei einem Wiedervereinigungskoeffizienten von ca. $2,5 \cdot 10^{-6}$ ca.

$$n = \sqrt{\frac{10}{2,7 \cdot 10^{-6}}} = 2000 \text{ Ionen}$$

eines Vorzeichens ergeben würde, so ergibt sich im Mittel die Bildungszahl q' über 30 mal größer als die normale. (Mit dem Ebertschen Ionenzähler, dem allerdings die trägen Ionen entgehen, wurden im Maximum in Gräfelting 1420 und 1680 Ionen eines Vorzeichens gezählt.) Nimmt man darauf Rücksicht, daß in der Nachbarschaft des Drahtes die Gefälle mit zunehmender Höhe wachsen (vgl. Abschnitt I) so wird man sagen können, daß die angenommene mittlere Verteilung in Natur nicht erfüllt sein wird, daß vielmehr die oberen Teile auf Kosten der unteren erheblich stärker beschlagen sein werden. Kurz¹⁾ hat in Gießen mit dreifach unterteilten Drähten Versuche angestellt und gefunden, daß sich die Aktivitäten der drei Drahtlängen von unten nach oben verhalten wie 1 : 5,0 : 8,4. Ehe genauere Zahlen vorliegen, wird man annehmen können, daß der Größenordnung nach die Ionenbildungszahl in der Nachbarschaft eines 40 m hochgeführten Drahtes an den oberen Teilen rund das 100 fache der normalen betragen wird.

Mit den erhöhten Ionenbildungszahlen erfährt die Leitfähigkeit λ des den Draht umgebenden Luftzylinders gleichzeitig einen Zuwachs. Man kann den Betrag dieser Leitfähigkeit nur angeben für eine Zeit, in welcher der Draht nach vorheriger Exposition dem Felde entzogen ist. Es ergibt sich dann aus

$$n = \sqrt{\frac{q}{\alpha}} \text{ und } \lambda = \epsilon \left(\frac{++}{n v} + \frac{--}{n v} \right)$$

für λ die Leitfähigkeit:

$$\lambda \approx 80 \cdot 10^4 \text{ st. E.}$$

¹⁾ Kurz, l. c. 29.

III. Die Strömungserscheinungen in der Antenne.

Verschiedene Stromformen in der Antenne.

Bereits in der Einleitung sowie im I. Abschnitt ist die Tatsache berührt worden, daß ein Luftdrahtgebilde, das im elektrostatischen Erdfeld eine Vertikalerstreckung besitzt, an den atmosphärisch-elektrischen Ausgleicherscheinungen beteiligt ist. Es ist die Aufgabe dieses Abschnittes, die Art dieser Erscheinungen, die sich beim Geltenlassen mehrerer Vernachlässigungen einigermaßen einfach gestalten, näher zu erörtern.

Es ist dabei fraglich, ob das vereinfachte theoretische Bild, so wie es hier gegeben werden kann, tatsächlich hinreichend vollständig ist, jedenfalls wird es bis auf weiteres dem Praktiker insoweit genügen können, als das am Schlusse des Abschnittes mitgeteilte Beobachtungsmaterial keine deutlichen Widersprüche gegen das Bild ergibt.

Wenn man von der Stromführung einer Antenne in dem Falle absieht, daß sie selbst gerade sendet oder von elektromagnetischen Wellen anderweiten Ursprungs getroffen wird, so können zweierlei Stromformen in ihr erwartet werden.

Einmal wird man in einer geerdeten Antenne Ströme von Gleichstromcharakter erwarten dürfen, als Wirkung aller der Ursachen, die wenigstens für einige Sekunden konstante Parameter besitzen.

Zweitens aber läßt sich annehmen, daß in der Antenne auch Hochfrequenzströme auftreten. Da sie ein elektrisch schwingungsfähiges Leitergebilde vorstellt, werden alle elektrischen Gleichgewichtsstörungen, seien sie durch Schwankungen des Stromes von Gleichstromcharakter, durch Änderung der Ladungsverteilung oder auf andere Art erzeugt, sich oszillatorisch mit der Eigenperiode und Dämpfung der Antenne ausgleichen müssen.

Komponenten des Gleichstromes.

Der in einer geerdeten Antenne bei Schönwetterlage und Windstille fließende Strom von Gleichstromcharakter I wird sich darstellen lassen als eine Summe

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad \dots \dots \dots 6)$$

deren einzelne Glieder I_1 bis I_n verschiedene Ursachen haben und in verschiedener Weise von den Dimensionen der Antenne abhängen. Nach dem jetzigen Stande unserer Erfahrung kann man etwa drei derartige Glieder für Schönwetterlage abschätzen, dazu können aus bestimmten Anlässen weitere Störungsglieder treten.

Ausgleichsstrom.

Das erste und vielleicht wesentlichste dieser Glieder I_1 ist bereits in Abschnitt I auf Seite 33 von mir abgeleitet worden. Die Antenne dient bei dem Elektrizitätsaustausch Atmosphäre - Erde als Elektrode. Durch den Erdungsquerschnitt des Antennenleiters muß ein Strom fließen, der nahezu gleich dem Strom durch den an dieser Stelle definierten Antennenluftquerschnitt angenommen werden kann. Bezeichnet i den normalen vertikalen Leitungsstrom und die Höhe der Antenne, so gilt näherungsweise

$$I_1 = \frac{\pi}{4} i l^2 \text{ Ampere} \quad 7 a)$$

Linearantenne

und

$$I_1 = \pi i l^2 \text{ Ampere} \quad 7 b)$$

Schirmantenne

Dieser Strombetrag dürfte von dem Drahtmaterial, seiner Oberflächenbeschaffenheit usf. in hohem Grade abhängig sein. Er wird hinsichtlich seines Vorzeichens und seiner Richtung durchaus von dem jeweiligen Betrag des vertikalen Leitungsstromes abhängen und soll im folgenden stets als Antennenausgleichsstrom bezeichnet werden.

Kollektorstrom.

Das zweite der hier zu betrachtenden Glieder ist erheblich weniger einfacher Natur. Ein das Feld deformierender Leiter kann sich mit seiner Umgebung auch dann elektrisch ausgleichen, wenn das Medium von sich aus keine elektrische Leitfähigkeit besitzt. Es muß nur die Oberfläche des Leiters Kollektorwirkung zeigen.

Es sei beispielsweise eine Linearantenne angenommen, die an ihrem oberen Ende in zahlreiche scharfe Spitzen ausläuft. Wenn dann das Potentialgefälle in der Nachbarschaft des oberen Endes hinreichend große Werte besitzt, wird eine stille Entladung einsetzen und ein Strom in der Antenne auftreten.

Das so zustande kommende Stromglied I_2 , das allerdings wegen der geänderten Leitfähigkeit der Luft nicht ohne jeden Einfluß auf I_1 bleibt, soll im folgenden stets als Kollektorstrom bezeichnet werden.

Während wegen der näherungsweise praktischen Konstanz des Produktes: „Potentialgefälle mal Leitfähigkeit = vertikaler Leistungsstrom“ der Ausgleichsstrom ziemlich unabhängig von dem jeweiligen Wert des Potentialgefälles erscheint, hängt der Kollektorstrom in hohem Grade vom jeweiligen Werte des Potentialgefälles ab.

Da die Zahl der Kollektorwirkungen nicht gering ist, so wird das Glied I_2 seinerseits in mehrere Teilglieder I_{21} , I_{22} usf. zerfallen. Von wesentlicher Bedeutung dürften aber nur zwei Teilglieder sein.

Erstens wird die schon erwähnte Spitzenwirkung bemerkenswerten Einfluß haben. Bei den meisten Antennen der Praxis wird es sich nicht ganz vermeiden lassen, daß an verschiedenen Stellen schärfere Kanten, Knicke usw. des Drahtmaterials auftreten. Je schärfer die Spitze ist, je geringer kann der Wert des benachbarten Potentialgefälles sein, der zum Auftreten der Kollektorwirkung führt. Man darf

sich den Vorgang jedenfalls so vorstellen, daß bei niederen Werten des Potentialgefälles nur die äußersten und schärfsten Spitzen als Kollektoren wirken, daß bei steigenden Werten des Gefälles, je nach dem Überschreiten des für jede Stelle spezifischen Schwellenwertes, auch weniger exponierte Spitzen an der stillen Entladung beteiligt werden. Ein stetiges Schwanken des Potentialgefälles wird so zu einem unstetigen Schwanken des Kollektorstromes führen.

Der Wert dieses Kollektorteilstromes I_{21} wird in erster Näherung wegen der Feldstörung der Höhe der Antenne l proportional sein; er wird weiter abhängen von dem jeweiligen Überschuß des Potentialgefälles $\frac{dV}{dh}$ über einen unwirksam bleibenden Betrag a und endlich einem Faktor A_1 , der die Antennenoberfläche hinsichtlich ihrer Spitzen charakterisiert, so daß näherungsweise gilt

$$I_{21} = A_1 \cdot l \cdot \left(\frac{dV}{dh} - a \right) \text{ Ampere} \quad 8)$$

A_1 erhält somit die Dimensionen einer Leitfähigkeit und kann experimentell abgeschätzt werden.

Das zweite (wesentliche) Teiglied des Kollektorstromes ist bedingt durch die auf der Oberfläche der Antennen (nach Abschnitt II) niedergeschlagenen radioaktiven Induktionen. Geradeso wie ein Poloniumkollektor für einen rascheren Ausgleich sorgt, übernimmt hier die gesamte Oberfläche der Antenne, wenn auch an verschiedenen Stellen in verschiedenem Grade, die Ausgleichwirkung. Da die radioaktiven Induktionen sich wie positive Ionen zu verhalten scheinen und so gleichfalls längs der Strömungslinien auf die Oberfläche der Antennenleiter wandern, kann man für diesen Teil des Kollektorstromes ansetzen

$$I_{22} = \frac{\pi}{4} \cdot l^2 \cdot A_2 \quad 9 a)$$

Linearantenne

für eine Linearantenne oder für eine Schirmantenne:

$$I_{22} = \pi \cdot l^2 \cdot A_2 \quad 9 b)$$

Schirmantenne

wobei A_2 den Sättigungsstrom bedeutet, den die durch den Quadratcentimeter des Luftquerschnittes gehenden radioaktiven Induktionen beim Zerfall im Gleichgewicht aufrecht erhalten können. Für den geringen Abstand vom Antennenleiter, in welchen die radioaktiven Substanzen ionisierend wirken, kann man annehmen, daß die zur Aufrechterhaltung des Sättigungsstromes erforderlichen Gefälle bestehen. Es ist wesentlich, zu beachten, daß bei kurz dauernden momentanen Erniedrigungen des Potentialgefälles oder Umkehrungen des Vorzeichens der Teilstrom I_{22} entsprechende Änderungen erfährt; bei dauernder Feldumkehr muß, da sich die Induktionen nur an negativen Elektroden anreichern, das Glied verschwinden. Diese Besonderheiten kommen in der Formel nicht zum Ausdruck. Schwankungen des Luftdruckes dürften ferner auf A_2 nicht ohne Einfluß sein. Die zu einer rohen Ermittlung von A_2 erforderlichen Daten sind im Abschnitt II gewonnen.

Hallwachsstrom.

Das dritte Glied des Gleichstromes ist gegeben durch den Hallwachseffekt. Bei Belichtung mit ultraviolettem Licht treten aus der bestrahlten Oberfläche oder Antennenleiter negative Ladungen aus. Diese Wirkung ist stark vom Material abhängig. Bei Phosphorbronze scheint sie nicht erheblich zu sein, bei Aluminiumdrähten sind jedoch höhere Werte zu erwarten. In gewisser Näherung wird gelten:

$$I_3 = \frac{0}{2} A_3 H \text{ Ampere} \dots \dots \dots 10)$$

wobei A_3 den pro cm^2 in den bestrahlten Teil der Oberfläche tretenden Strom bei einer mittleren Flächenhelligkeit von H Einheiten bedeutet. Nachts bei $H = 0$ wird das Glied, das stets aus der Atmosphäre gegen Erde fließende Ströme angibt, verschwinden.

Herrscht kein Schönwettercharakter, so können zu diesen drei Gleichstromgliedern weitere Störungsglieder treten. Bei Regen wird das Vorzeichen der Tropfenladung und der Lenardeffekt¹⁾ eine Rolle spielen. Dampf, Staub und Schneewolken führen häufig erhebliche Ladungen mit sich oder können auf vorhandene Ionen molisierend wirken.

Gesamtstrom.

Sieht man von derartigen ausgesprochenen Störungen ab, so ergibt sich als Strom im Erdungsquerschnitt nach dem vorangehenden folgender Näherungsausdruck: für eine Linearantenne

$$I_L = \frac{\pi}{4} l^2 i + \left(A_1 l \frac{dV}{dh} + A_2 \frac{\pi}{4} l^2 \right) + \frac{0}{2} A_3 H \text{ Ampere} \dots \dots 11 a)$$

oder für eine Schirmantenne

$$I_S = \pi l^2 i + \left(A_1 l \frac{dV}{dh} + A_2 \pi l^2 \right) + \frac{0}{2} A_3 H \text{ Ampere} \dots \dots 11 b)$$

Es dürfte eine lohnende Spezialaufgabe sein, diese Einzelglieder exakter zu formulieren und den beobachteten Gesamtstrom eingehender zu analysieren, als es sich im Rahmen dieser Untersuchung ermöglichen ließ.

Begnügt man sich mit dem oben aufgestellten Ausdruck, so kann man schätzungsweise die Glieder I_1 und I_{12} aus dem bereits bekannten Material zahlenmäßig angeben.

Für die Gräffelfinger ca. 45 m hohe Schirmantenne ist nach Seite 39 für I_1 ein Betrag zu erwarten vom Betrage:

$$I_1 = \pi \cdot 4500^2 \cdot 2,0 \cdot 10^{-18} \text{ Ampere}$$

oder ausgewertet

$$I_1 = 1,27 \cdot 10^{-8} \text{ Ampere.}$$

Dieser Strombetrag wird sich, da der vertikale Leitungsstrom, auf den er sich stützt, im allgemeinen nur verhältnismäßig geringe Schwankungen aufweist, leidlich konstant vorfinden müssen.

¹⁾ Ph. Lenard, Wied. Ann. 69, 12, 1899.

Der Wert für I_{22} läßt sich nach Seite 51 berechnen. Dort ist gesagt, daß von den radioaktiven Induktionen einer 40 m hohen Linearantenne maximal insgesamt $1,05 \times 10^8$ Ionen pro Sekunde erzeugt werden. Führt man diesen Maximalwert, der wegen der nicht völlig freien Lage der Antenne zum Überschlag brechtigt erscheint, ein, so berechnet sich zunächst der von diesen Ionen unterhaltene Sättigungsstrom I'

$$\begin{aligned} I'_{22} &= 4,7 \cdot 10^{-10} \cdot 1,05 \cdot 10^8 \cdot 3,33 \cdot 10^{-10} \text{ Ampere} \\ &= 1,64 \cdot 10^{-11} \text{ Ampere.} \end{aligned}$$

Aus Formel 9a, kann man hieraus den Wert für A_2 bestimmen, und zwar ist

$$A_2 = \frac{4 \cdot 1,64 \cdot 10^{-11}}{\pi \cdot 4000^2} = 1,31 \cdot 10^{-18}$$

Mit Hilfe von A_2 kann man nunmehr aus 9^b) den Teilstrom I_{22} in der Schirmantenne angeben. Man erhält

$$I_{22} = 1,31 \cdot 10^{-18} \cdot \pi \cdot 4500^2 = 0,83 \cdot 10^{-10} \text{ Ampere.}$$

Das heißt: der von den niedergeschlagenen radioaktiven Substanzen unter dem Einfluß des Erdfeldes aufrechterhaltene Kollektorteilstrom beträgt weniger als 1 % vom Ausgleichstrom. Es hat also den Anschein, daß man in der Praxis das Glied I_{22} als klein gegen I_1 , vernachlässigen kann.

Den Betrag des ersten Kollektorgliedes I_{21} kann man ohne besondere Versuche nicht angeben.

Registrierung des Antennenstromes.

Zur Ermittlung dieses Gliedes sowie zur Untersuchung der den Antennenstrom allgemein angehenden Fragen wurden zahlreiche Beobachtungen angestellt. Eine Beschreibung der Registrierschuppen und der photographischen Registriereinrichtungen ist schon gelegentlich der Beschreibung der Anlage auf Seite 16 ff gegeben worden. Mit diesen Anordnungen wurden insgesamt 118 über je ca. 24 Stunden

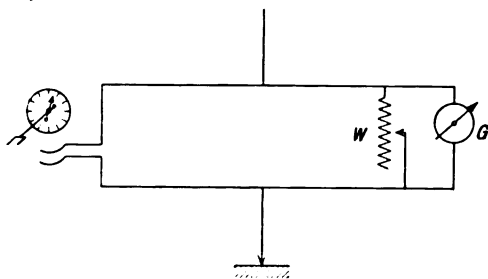


Abb. 47. Antennenstromregistrierung.

gehende Registrierblätter erhalten, von denen allerdings 29 Stück wegen offensichtlicher Störungen an der Isolation, Justierung oder Lichtquelle gänzlich unberücksichtigt bleiben mußten. Bei der Registrierung wurde so verfahren, daß, wenn es anging, auf ein Blatt tunlichst zwei Meßinstrumente, in Schuppen 4 zwei Galvanometer, in Schuppen 7 ein Galvanometer und ein Elektrometer, die verschiedene Größen ergeben sollten, gleichzeitig arbeiteten. An dieser Stelle sind aber nur die Ergebnisse der Messungen mitgeteilt, die sich speziell auf die Antennenströme mit Gleichstromcharakter und ihren Zusammenhang mit dem Potentialgefälle beziehen.

Die Schaltungen für die Antennenstrommessungen sind in Abb. 47 angegeben. Das eine der in Hütte 4 untergebrachten auf Seite 16 genannten Edelmannschen

Drehspulengalvanometer liegt direkt oder mit einem Nebenschluß in der Erdleitung der Schirmantenne. Bei einem großen Teil der so angestellten Versuche lag parallel zum Galvanometer eine Kontaktuhr, die allstündlich einmal 2 Minuten lang die Galvanometerzuleitungen kurz schließen und so die Basiswerte für die Galvanometerausschläge erkennbar machen konnte. Einer Bewegung des Lichtzeigers von 1 mm auf dem 180 cm entfernten Registrierblatt entsprach ein Strom von $5,4 \times 10^{-9}$ Ampere. Es empfahl sich aber, um die Ausschläge möglichst vollständig auf den Blättern zu erhalten, das Galvanometer mit 500 Ohm zu wehren. In diesem letzteren

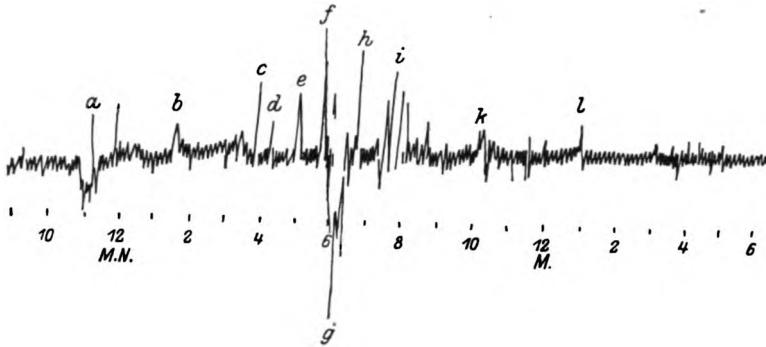


Abb. 48. Antennenstrom.

Falle entsprachen $7,42 \times 10^{-9}$ Ampere 1 mm Ausschlag. Der Widerstand des Galvanometers betrug ca. 300 Ohm.

Mit dieser Anordnung wurden 30 brauchbare Tageskurven aufgenommen, um eine Vorstellung des Kurvencharakters zu geben, zeigt Abb. 48 die Pause einer typischen Stromkurve. Der Verlauf ist im allgemeinen ziemlich veränderlich, es wechseln momentane Ablenkungen und Unruhen mit dauernden Ausschlägen.

Sind offensichtlich keine Störungen vorhanden, so beträgt der dauernde leidlich konstante Ausschlag im Mittel etwa 2 mm, selten überschreitet er 3 mm. Diese Ausschläge würden Strömen von ca. $1,5 \times 10^{-8}$ und $2,2 \times 10^{-8}$ Ampere aus der Atmosphäre gegen Erde entsprechen. Ein derartiger Wert würde sich verhältnismäßig sehr gut mit dem auf Seite 66 aus dem normalen vertikalen Leitungsstrom geschätzten Betrag für I_1 von $1,27 \times 10^{-8}$ Ampere vertragen.

Abhängigkeit des Kollektorstromes vom Potentialgefälle.

Zur Klärung des Zusammenhanges zwischen Stromschwankungen und Potentialgefälle wurden gleichzeitig in Hütte 7 Registrierungen des Potentialgefälles vorgenommen. Die Meßanordnung, bei der die auf einer 11 m hohen Stange angebrachte Poloniumsonde als Kollektor diente, ist bereits auf Seite 21 beschrieben und in Abbildung 21 ausführlich dargestellt. Wie schon erwähnt, machte dieser Teil des Aufbaues besondere Schwierigkeiten; die Zahl der brauchbaren Potential-Registrierblätter ist nur halb so groß, als die Stromregistrierungen. Um wieder ein charakteristisches Beispiel zu geben, ist in Abbildung 49 oben die Pause einer Potentialkurve dargestellt. Das Elektrometer war nicht direkt auf Hochspannung geeicht. Es

wurden nur gelegentlich auf dem freien Teil der Wiese Potentialmessungen vorgenommen und so die Ausschläge des Quadrantenelektrometers auf die Ebene reduziert.

Ein Vergleich der täglichen Kurvenblätter von Antennenstrom und Potentialgefälle zeigt, obwohl beide Messungen in 360 m Abstand vorgenommen wurden, sehr deutliche Zusammenhänge. Positiven Werten des Potentialgefälles entsprechen positive Stromwerte, bei Umkehr des Gefällevorzeichens kehrt im allgemeinen auch der Strom seine Richtung um. Ebenso sind Störungen, besonders lebhaftere Ausschläge

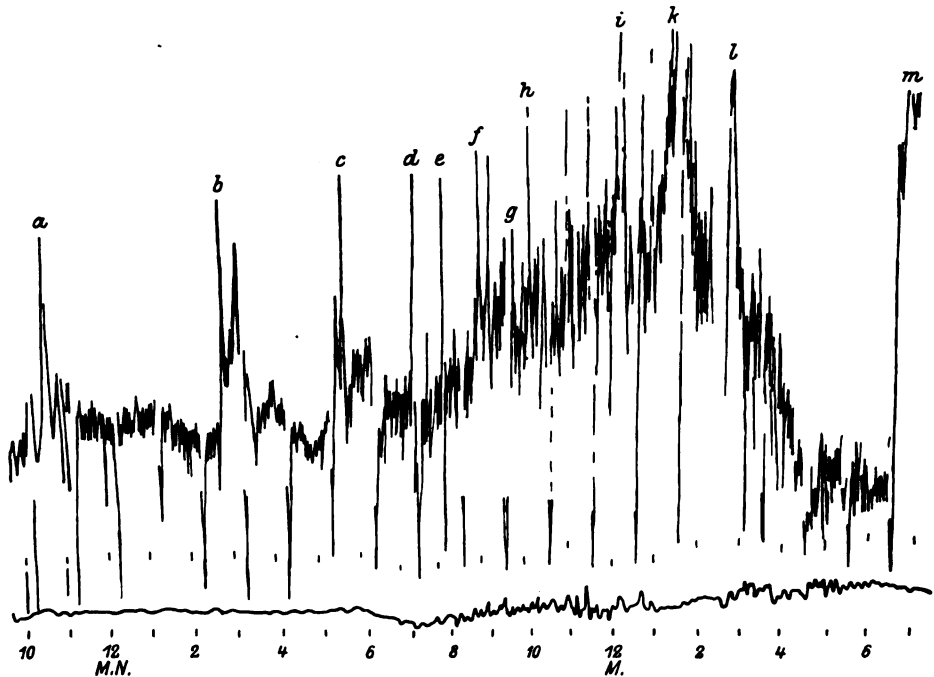


Abb. 49. Potentialgefälle.

meist auf beiden Blättern gleichzeitig angegeben. Es scheint aber, als ob die Stromkurve im allgemeinen mehr Störungen aufweist, als die Potentialkurve; indessen sind, wenn auch seltener, Störungen der Potentialkurve auf der Stromkurve nicht oder nicht entsprechend deutlich erkennbar. Zwingende Gesetzmäßigkeiten zwischen den Ausschlägen hier und dort haben sich nicht auffinden lassen. Derselbe Schwankungsbetrag des Potentials kann einmal mit einer größeren, das andere Mal mit einer kleineren Schwankung des Stromes parallel gehen. Auf kurzdauernde Spannungsschwankungen reagiert der Antennengalvanometer oft übertrieben.

Bei einer Antennenkapazität von ca. 1000 cm und einer Änderung in der Ladungsverteilung sind ballistische Wirkungen anzunehmen. Langsame, selbst sehr erhebliche Änderungen des Gefälles bleiben dagegen auf der Stromkurve in mehreren Fällen kaum erkennbar. Wenn im folgenden trotzdem aus den Beobachtungen ein Mittelwert für das erste vom Potentialgefälle abhängige Kollektorglied I_{21} der Formel 8) berechnet und ein Zahlenwert für A_1 und a dieser 13-drähtigen, sorgfältig hergestellten Schirmantenne gegeben wird, so geschieht dies, um mit etwaigen an anderen Stellen gemachten Beobachtungen erstmalig einen rohen Vergleich zu ermöglichen.

Die hier beobachteten Daten gruppieren sich leidlich um einen Wert von $A_1 = 3,9 \times 10^{-11}$ und $a \sim 2,0$ Volt/cm. Bei einem Potentialgefälle von 220 Volt/Meter ergibt sich so beispielsweise ein Strom

$$\begin{aligned} I_{2,1} &= 3,9 \cdot 10^{-11} \cdot 4500 \cdot (2,2 - 2,0) \text{ Ampere} \\ &= 17,6 \cdot 0,2 \cdot 10^{-8} = 3,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ampere.} \end{aligned}$$

Bei 400 Volt ein solcher von

$$I_{2,1} = 3,52 \cdot 10^{-7} \text{ Ampere.}$$

Stromwerte von diesem und höherem Betrage wurden häufig beobachtet.

Mit gewisser Näherung kann also für die Gräfelinger Antenne unter Vernachlässigung der wenig wirksamen Glieder I_{22} und I_3 die Antennenstromstärke nach der Formel

$$I = \pi l^2 i + A_{1,1} l \left(\frac{dV}{dh} - a \right) \text{ Ampere}$$

aus dem Wert für das Potentialgefälle $\frac{dV}{dh}$ geschätzt werden, wobei i im wesentlichen nicht sehr verschieden von $2,0 \times 10^{-16}$, $A_1 = 3,9 \times 10^{-11}$, $a = 2,0$ anzunehmen ist; l beträgt, wie mehrfach erwähnt, ca. 4500 cm^1).

Täglicher Gang des Antennengleichstromes.

Das Beobachtungsmaterial des Antennenstromes wurde des ferneren nach einer Abhängigkeit der Störungen von der Tageszeit untersucht.

Da es nicht notwendig erschien, kleinere Zeitintervalle als ganze Stunden zu betrachten, so wurde für jede Stunde die Abweichung vom ungestörten, nur durch den vertikalen Leitungsstrom gegebenen Wert, graphisch aufgetragen. Da der Störungscharakter, wie sich schon auf Seite 52 erwähnt findet, sich im allgemeinen als von zweifacher Art ergibt, indem entweder momentane Unruhen oder dauernde Ablenkungen eintraten, so wurden für diese typischen Stromverläufe zwei verschiedene graphische Symbole gewählt. Bei Dauerausschlag ist, je nachdem der beobachteten Stromrichtung positives oder negatives Vorzeichen zukommt (positiv: Strom fließt aus der Atmosphäre gegen Erde) ein schwarzes Rechteck über oder unter der Stundenlinie aufgetragen. Bei bloßer Unruhe ist das entsprechende Rechteck klar belassen. Je nach der Maximalamplitude während des Ausschlages oder der Unruhe wurden drei positive und drei entsprechende negative Höhenstufen für diese Rechtecke gewählt.

Nach diesem Schema sind die Kurven umgezeichnet und in Abbildung 50 wiedergegeben.

Um den zeitlichen Gang der einzelnen Störungsformen zu erfahren, wurden die Störungen jeder einzelnen Tagesstunde zunächst für sich gemittelt und zwar

¹⁾ Es wurde versucht, frühere Webersche Beobachtungen an Fesselballons mit der Formel für Linearantennen nachzuprüfen (Weber, Elektrot. Zeitschr. 9, 189, 1888). Bei Ballonhöhen bis 100 m kommen die Größenordnungen unter der Annahme eines gleichen $A_{1,1}$ überraschend gut heraus.

1. für positive Unruhe und Ausschlag,
2. für negative Unruhe und Ausschlag,
3. wurde aus 1 und 2 die Summe und endlich,
4. aus 1 und 2 die Differenz gebildet.

Die aus den 30 Registrierblättern so gemittelten Stundenwerte für 1, 2 und 4

sind in der graphischen Darstellung 51 eingetragen, die für 3 in Darstellung 52.

Diese letztere Darstellung, die, wenn man den Ausdruck wählen darf, die Abhängigkeit der „Gesamtstätigkeit“ des Antennenstromes von der Tagesstunde vorstellt, hat die reellste Bedeutung. Der charakteristische Verlauf dieser Kurve kommt übrigens bereits völlig zum Ausdruck, wenn man nur eine kleinere Zahl von

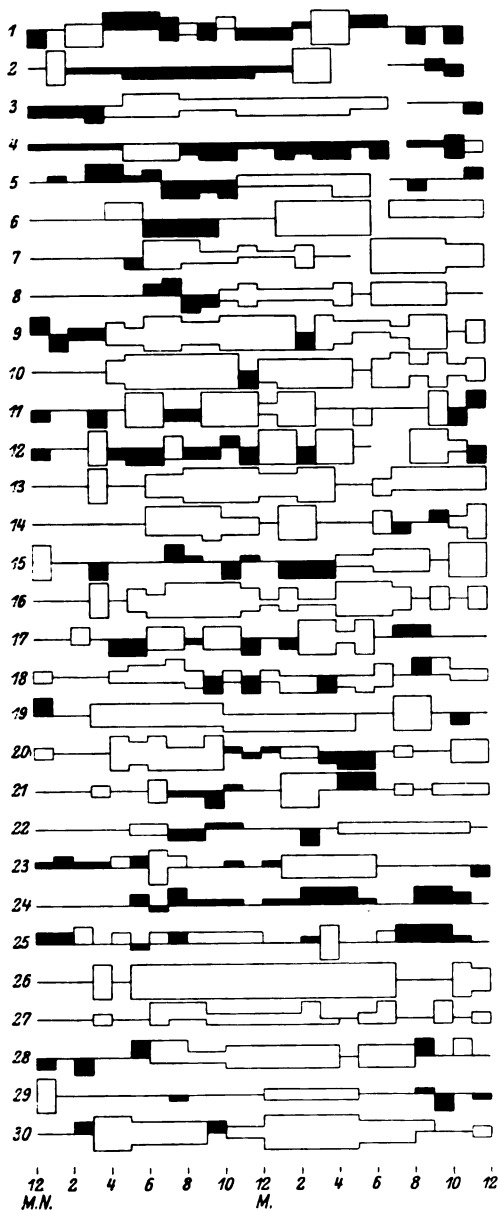


Abb. 50. Schematisierte Tageskurven.

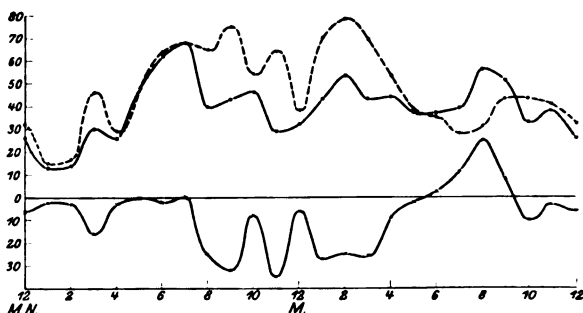


Abb. 51. Kurve 1 — — — — —
 Kurve 2 — x — x — x — x —
 Kurve 4 - . - . - . - . - . - .

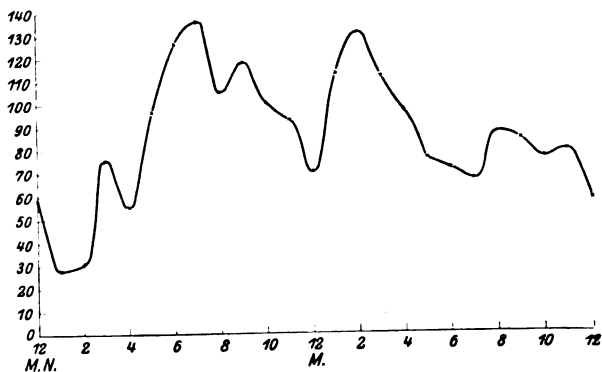


Abb. 52. Kurve der Gesamtstätigkeit.

Blättern, etwa Blatt 1 bis 10, 11 bis 20, 21 bis 30 für sich mittelt und aufträgt. Experimentell unbestimmt ist der Verlauf der Kurve in den Stunden von 4 h^p bis

9 h^p, da in dieser Zeit die Blätter gewechselt wurden. Bei der Mittelbildung konnte ohne Willkür auf die hier fehlende Beobachtungszeit keine Rücksicht genommen werden. Die Amplituden sind also für diese Zeit sicher etwas zu klein, am meisten gegen 7 h^p.

Die Kurve zeigt ein deutliches Morgenmaximum zwischen 6 h^a und 7 h^a und ein Nachmittagsmaximum um 2 h^p. Nachts zwischen 1 h^a und 2 h^a liegt ein tiefes Minimum, gegen Mittag tritt ein schwächeres in Erscheinung. Der Buckel um 3 h^a kann nicht zufälliger Art sein, er findet sich auf zahlreichen Blättern und tritt auch gelegentlich auf der Potentialkurve deutlich auf. Der ganze Gang der Kurve erinnert überaus stark an die Kurven, die den Gang des täglichen Potentialgefälles¹⁾ angeben. Die Vormittagsmaxima hier und dort decken sich zeitlich sehr gut. Das Nachmittagsmaximum dagegen tritt bei den Potentialkurven später erst, gegen 8 h^p auf. Gerade für diese Zeit ist aber der Verlauf der Stromkurve schlecht bestimmt. Die starken Ausschläge zwischen 1 h^p und 3 h^p hängen mit den in diesen Stunden häufigen Gewittern zusammen. Wenn man nur gewitterfreie Tage berücksichtigt, fällt das Mittagsminimum erheblich breiter aus und erstreckt sich mehr in die Nachmittagsstunden.

Man wird also in der Annahme kaum fehlgehen, daß der Gang der Gesamttätigkeit des Antennenstromes mit dem Gang des Potentialgefälles im wesentlichen direkt parallel geht.

Den Kurven 1, 2 und 4 (Abb. 51) dürfte nur geringere Reellität zukommen. Bei Kurve 4 speziell ist zu betonen, daß sie sich nach Seite 59 nur über die normale Antennenstromkurve überlagert und in dieser Form quantitative Schlüsse nicht zuläßt. Eine ausführliche Auswertung des Kurvenmaterials unter mehr luftelektrischen Gesichtspunkten wird voraussichtlich an anderer Stelle erfolgen.

Während der gesamten Beobachtungsdauer wurden Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit gesondert registriert. Mit Ausnahme der Gewitterstörungen konnten jedoch klare Gesetzmäßigkeiten nicht gefunden werden.

Hochfrequenzstrom.

Außer diesen Antenneströmen mit Gleichstromcharakter sind nach Seite 52 in den Antennen, hervorgerufen durch momentane Störungen, Hochfrequenzströme vorauszusetzen. Für ihre Berechnung fehlen zunächst alle Anhaltspunkte. Es wurde deshalb versucht, einige Gesichtspunkte experimentell zu ermitteln.

Meßanordnung.

Zum Zwecke der Messung ist die Empfangsschaltung von Abb. 22 in sehr fester Koppelung benutzt nur mit dem Unterschied, daß in der Galvanometerzuleitung, vom Hochfrequenzstrom nicht durchflossen, ein zweites Thermoelement entgegengesetzt geschaltet liegt.

Durch Änderungen der Lufttemperatur können keine Galvanometeraus schläge verursacht werden, da sich die Wirkungen der beiden Thermoelemente aufheben.

¹⁾ Mache u. Schweidler, Die atmosphärische Elektrizität. Braunschweig 1909, S. 30.

Ausschläge des Galvanometers müssen ausschließlich durch induzierte Ströme verursacht sein. Nach zahlreichen Vorversuchen (20 Blatt) die über den Grad der Temperaturkompensation den Verlauf der Nullpunktskurve auch ohne Antenne usw. Aufschluß gaben, wurden mehrere Aufnahmen (30 Blatt) nach der modifizierten Schaltung von Abbildung 22 aufgenommen.

Abhängigkeit des Hochfrequenzstromes vom Potentialgefälle.

Bei allen stärkeren Potentialschwankungen, vor allen bei Gewittern und auch fernen Gewittern, wies das Galvanometer deutlich Hochfrequenzströme nach. Bei starken atmosphärischen Entladungen breitet sich offenbar die Störung des Feldes allseitig nach Art einer Welle aus. Die einem bestimmten Blitzübergang entsprechende Störung muß deshalb — praktisch gleichzeitig — von verschiedenen benachbarten drahtlosen Stationen wahrgenommen werden. Es kann sich hierbei aber, wenn überhaupt um eine oscillatorische Entladung, dann nur um eine solche mit sehr starker Dämpfung handeln. Es wurden hier gleichzeitig mit wechselnd sehr verschieden abgestimmten Empfängern (180 m und 2300 m) dieselben Störungen auf beiden Nahstationen subjektiv empfangen, ohne daß die Abstimmung einen ersichtlichen Einfluß gehabt hätte. Bei der Registrierung entsprechen die Galvanometerausschläge der Größenordnung nach einer Gleichstromheizung des Thermoelementes mit 10^{-5} bis 10^{-6} Ampere. Bei einem Antennenwiderstand von ca. 5 Ohm entspricht das einem Energiebetrag von 5×10^{-10} bis 5×10^{-12} Watt. Die Koppelung zwischen Antenne und Schwingungskreis war ziemlich fest, sie betrug 12 bis 15 %. Es ist nach allem anzunehmen, daß diese Hochfrequenzströme den zeitlichen Änderungen der Teilstrombeträge I_{21} (Seite 54) proportional sind.

IV. Strahlungsabsorption durch Aktivierung der Oszillatoren.

Unterschied zwischen Oszillatoren im Freien und im Laboratorium.

Die Messungen des zweiten Abschnittes ergeben, daß ein im Erdfeld aus-
gespannter Antennenleiter gegen einen entsprechenden nur im Laboratorium be-
nutzten, also elektrostatisch geschützten Leiter, gewisse Unterschiede aufweisen muß.
Die Oberfläche des Leiters ist durch die niedergeschlagenen radioaktiven Induk-
tionen verändert und der den Leiter umgebende benachbarte Luftzylinder besitzt
eine elektrische Leitfähigkeit, welche die der normalen Luft übertrifft.

Die elektromagnetischen Wellen, die von einer Sendeantenne (Abb. 53) A aus-
strahlen, müssen bei dieser Sachlage zunächst einen Luftweg von allerdings nur ge-
ringer Stärke durchsetzen, dessen Ionenbildungszahl wesentlich höher ist, als die
des weiteren Zwischenmittels M. Ebenso weist die Empfangsantenne B eine stärker
leitende Hülle auf, welche ebenfalls energieabsorbierend wirken kann. Den Betrag
der wahrscheinlichen Energieabsorption rechnerisch zu ermitteln, erschien wenig
aussichtsvoll, da die Theorie schon bei der Behandlung viel einfacherer Fälle, als
sie hier durch das Hereinkommen der Hochfrequenzfelder gegeben sind, Schwierig-
keiten bietet. Es wurde deshalb versucht, experimentell einige Anhaltspunkte über
den Einfluß dieser radioaktiven Begleiterscheinungen zu gewinnen. Da es nicht
ausgeschlossen erschien, daß die im Vorwort

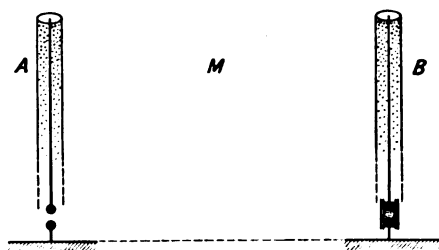


Abb. 53. Luftzylinder erhöhter Leitfähigkeit.

erwähnte Reichweitenänderung durch wechselnde Beträge der Leitfähigkeit dieser
Luftzylinder mit verursacht sei, wurden Beobachtungen angestellt, die einmal
untersuchen sollten, ob zwischen Nahestation, also bei möglicher Ausschaltung
des Zwischenmittels die Erscheinung der Reichweitenänderung überhaupt zu kon-
statieren sei und zweitens, ob die radioaktiven Niederschläge und ihre Wirkungen
energieabsorbierend wirken können.

Untersuchung auf zeitliche Änderung der Reichweite.

Die experimentelle Untersuchung auf Reichweitenänderung gestaltet sich sehr
einfach. In der Sendestation werden automatisch mit stets nahezu gleichbleibender
oder willkürlich wechselnder Energie Wellen ausgestrahlt und die der Antennen-

stromstärke proportionalen Ausschläge werden photographisch registriert. In der mit Thermoelement ausgerüsteten ca. 360 m entfernten Empfangsstation rufen diese Wellenserien ihrerseits einen Galvanometerausschlag hervor, der gleichfalls photographisch registriert wird. Ein Vergleich der über längere Zeit beobachteten zusammengehörigen Galvanometerausschläge muß dann direkt einen etwaigen Gang in der Übertragungsgüte erkennen lassen.

Versuchsordnung.

Die wesentlichen Teile dieser Meßordnung sind bereits beschrieben. Als Sendeordnung dient der in Abbildung 5, 6 und 9 wiedergegebene Braunsche Kreis; in der Antennenleitung liegt der Koppelschieber I, II von Abbildung 13, der so eingestellt ist, daß die Galvanometerausschläge einen deutlich meßbaren Betrag ergeben. Als Antenne ist ein einfacher linearer Sender, bestehend aus einem 35 m langen Draht, benutzt worden.

Die Schaltung der Empfangsanordnung zeigt Abbildung 22.



Abb. 54. Empfangene Wellen.

Diese Meßordnungen arbeiten relativ zuverlässig und ohne Störungen. Als Beispiel der bequemen Art, mit der sich so objektive Aufzeichnungen gewinnen lassen, sind in Abb. 54 einige empfangene Stundenausschläge und Resonanzkurven, die durch Veränderung der Wellenlänge und Koppelung des Senders gewonnen wurden, mitgeteilt. Im allgemeinen betragen die Ausschläge 15 bis 20 mm und sind bis auf 0,3 mm sicher angebbar.

Ergebnisse.

Der Ausfall der Versuche ist durchaus derart, daß bei Nahestationen keine wesentliche Änderung im Verhältnis der ausgestrahlten zur empfangenen Energie bei Tag und Nacht eintritt. Bei konstanter Sendeenergie zeigen die Empfangsausschläge nach Abstimmung keine Schwankungen; das Beobachtungsmaterial bietet also sehr wenig Interessantes. In vereinzelt Fällen schien es, als ob nach Regen der Empfangsausschlag ein klein wenig größer, bei sehr anormalen luftelektrischen Potentialgefällen ein klein wenig kleiner werde. Diese Abweichungen sind aber höchstens gelegentlich gerade konstaterbar. Bei veränderter Primärenergie ändert sich der Strom im Empfänger im gleichen Sinne. Eine Änderung der Antennenstromstärke beim Senden in Abhängigkeit von anderen Faktoren speziell vom Sonnenlicht ließ sich bei diesen Versuchen nicht mit Sicherheit feststellen. Es ist aber möglich, daß der Hallwachseffekt, der sich in verminderter Isolationsfähigkeit der Antenne für die negative Phase des Stromes und damit in stärkerer Dämpfung resp. geringeren Antennenstromstärken äußern müßte,

erst bei stärkerer Spannungsbeanspruchung deutlichere Wirkung ausübt. Hierüber dürften die späteren Messungen mit der kräftigeren Anordnung Material beibringen.

Jedenfalls ist es als sehr wahrscheinlich anzunehmen, daß die „Reichweitenänderung“ nicht durch Erscheinungen in der Nachbarschaft der Antennen, sondern durch solche im Zwischenmittel zustande kommt.

Untersuchung auf Energieabsorption durch Aktivierung.

Die Anordnungen und Ergebnisse der Beobachtungen, die erweisen sollten, ob überhaupt eine Energieabsorption durch Anreicherung radioaktiver Substanzen auf den Antennen eintreten könne, sind nachfolgend aufgeführt.

1. Im Erdfeld aktivierte Antennen.

Als am naheliegendsten erschien es, direkt die Wirksamkeit „alter“ schon mehrere Stunden verspannter Antennen, auf denen die radioaktiven Induktionen sich hatten anreichern können, zu vergleichen mit schnell ausgewechselten sonst identischen Antennen, welche eine noch inaktive Oberfläche besaßen.

Dieser Weg wurde eingeschlagen und sowohl die Sendestation, die wie bisher mit dem Braunschen Erreger arbeitete, als die Empfangsstation, die ein Thermo-element und Galvanometer entsprechend dem Schaltschema (Abb. 22) enthielt, wurden mit je zwei gleich langen und gleich starken Antennendrähten ausgerüstet. (Sendeantennen: Drahtlänge 35,0 m Kupferlitze von 3,0 mm Durchmesser; Empfangsantennen gleich stark und 34,0 m lang.)

Die eine dieser Linearantennen wurde aufgezo-gen und erst nach längerer Zeit, nicht vor 6 Stunden, der Maximalausschlag des Galvanometers G gemessen, während die Sendestation gab. Dann wurden möglichst schnell die Antennendrähte ausgewechselt. Bis zum völligen Anschluß der frischen Drähte vergingen etwa 11 bis 13 Minuten. Nach dieser Zeit gab die Sendestation wieder mit gleicher Primärenergie und der Galvanometeraus-schlag in der Empfangsstation wurde abermals abgelesen.

Ein merkbarer Unterschied ließ sich in keinem Falle konstatieren. Wenn eine Differenz zwischen den — bei der Beobachtung hinreichend konstanten — Ausschlägen vorhanden war, so lag deren Betrag jedenfalls unter 3 %. In Hinsicht auf das von K. E. F. Schmidt¹⁾ mitgeteilte Ergebnis der Verschiebung des Resonanzpunktes in mutmaßlichem Zusammenhange mit variabler Ionisation möchte ich betonen, daß die mit ausgewechselten Antennen aufgenommenen Resonanzkurven durchaus an der gleichen Stelle des Drehkondensators das Ausschlagsmaximum zeigten.

Der negative Ausfall dieser Versuche besagte also, daß die drahtlos telegraphische Praxis aus Gründen einer Energieabsorption auf diese radioaktiven Anreicherungen wahrscheinlich keine Rücksicht zu nehmen braucht. Immerhin erschien es in diesem Zusammenhang wissenswert, ob der — wenn auch nur schwach zu erwartende — Effekt sich nicht in irgendeiner Form doch wenigstens werde nachweisen lassen.

¹ K. E. F. Schmidt, Physikal. Zeitschr. 8, 133, 1907.

2. Im Erdfeld aktivierte kleine Oszillatoren.

Um von den großen unhandlichen Versuchsanordnungen und dem Einfluß der Erdung frei zu werden, wurde ein kleiner Laboratoriumsaufbau hergestellt, der im wesentlichen aus einem direkt mit einem Induktorium betriebenen Hertzschen Oszillator und einem mit Thermoelement und Galvanometer verbundenen Resonator bestand. Als Leitungsmaterial für den Oszillator und Resonator dienten Kupferdrähte von 2,0 mm Durchmesser, die entweder inaktiv oder nach Exposition an der Aktivierungsrahe des Stationsmastes aktiviert verwendet wurden.

Die Längen der Drähte betragen bis zu 1 m, an ihren Enden waren sie zu Ösen gebogen, so daß sie leicht an den isolierenden Stiften verspannt werden oder mit Drahtzischengliedern an den Mast aufgehängt werden konnten.

Die Aktivität dieser kurzen Drähte war verhältnismäßig größer als die im Mittel genommene Aktivität der in Abschnitt II untersuchten langen Antennen, da ja namentlich an der Spitze des Mastes, bis zu der diese kurzen Enden aufgeholt wurden, das Potentialgefälle hohe Werte besitzt.

Zahlreiche, auch bei verschiedenen Expositionszeiten usw. angestellte Versuche ergaben aber auch mit dieser Anordnung keinen Unterschied im Ausschlag. Es erwies sich als gleichgültig, ob Oszillator und Resonator aktiv oder inaktiv waren.

3. Künstlich polonisierte kleine Oszillatoren.

Da die natürliche Aktivierung möglicherweise doch zu schwach war, einen merkbaren Effekt zu ergeben, wurde ein letzter Versuch angestellt, mit künstlich aktivierten Leitern. Diese Versuche führten zu einem positiven Ergebnis. Da die Versuchsbedingungen in hohem Grade von den in der drahtlos telegraphischen Praxis vorliegenden Verhältnissen abweichen, soll an dieser Stelle von ihrer Beschreibung abgesehen werden. Es zeigte sich, daß zwischen Drähten, die so stark mit Polonium aktiviert waren, daß ca. 500 α -Teilchen pro Sekunde und cm^2 Oberfläche ausgeschleudert wurden, die übertragene Energie um ca. 7 % geringer war als zwischen unaktiven Drähten. Es dürfte jedoch auch unter anormalen Bedingungen ausgeschlossen sein, daß in der Natur an verspannten Leitern ähnliche Aktivitäten auftreten.

V. Schutzvorrichtung.

Mechanismus der Empfangsstörung.

Für die Empfangsstörung kann man sich unter Zugrundelegung des bisher mitgeteilten Materials ein hinreichendes Bild machen. Die Antennen sind elektrisch schwingungsfähige Systeme. Alle durch atmosphärisch-elektrische Vorgänge bedingten Gleichgewichtsstörungen werden sich oszillatorisch ausgleichen müssen. Es kommen so in den mit der Antenne gekoppelten Empfangsorganen, die im allgemeinen lediglich ein Reagenz für schnelle Schwingungen vorstellen, Wirkungen zustande, die denen ähnlich sind, welche bei regulärem Empfang auftreten. Zum Auftreten dieser Störungen wird es gleichgültig sein, ob lediglich äußere Potentialschwankungen Ladungsverteilungen hervorrufen; es sich also primär um Influenzerscheinungen handelt, oder ob direkt elektrische Ladungen zwischen Atmosphäre und Antenne unter dem Einfluß des Feldes ausgetauscht werden. Es ist vielleicht nicht überflüssig, an dieser Stelle ein einfacheres Bild anzuführen, daß die Erscheinungen ziemlich gut deckt.

Wenn luftelektrische Potentialschwankungen auftreten und sich, wie dies üblich ist, in wechselnder Intensität wiederholen, so werden die ursprünglich sich glatt und unbeweglich ausbreitenden Äquipotentialflächen sich heben und senken müssen; es werden gewissermaßen Wellen mit Bergen und Tälern auf ihnen dahineilen, deren wechselnde Höhe die Potentialmeßanordnung wie ein Pegel anzeigt. In diesem elektrisch wogenden Meer steht die Antenne als elektrisch schwingungsfähiges Gebilde. Das, was man in dem Telephonhörer der Empfangsanordnung hört, wird also zu einem gewissen Teil die Brandung dieser luftelektrischen Wogen an der elektrisch erschütterbaren Antenne sein. Zu diesen Erschütterungen kommt ähnlich einem auf ein Blechdach prasselnden Regen, das Rauschen und Anschlagen der auf die Antenne zustürzenden Ionen.

Wenn man bedenkt, daß einmal die Empfangsorgane einer Station, die ja auf die Störungen der ca. über Tausende von Kilometern ankommenden elektromagnetischen Wellen reagieren sollen, außerordentlich empfindlich sind und weiter die elektrische Schwingungszahl einer Antenne — entsprechend der größeren „Tropfenzahl“ — sehr groß ist, so erscheint diese Analogie kaum besonders gewagt.

Wesentlich ist jedenfalls, daß, gleichgültig ob man der Influenz oder der Strömungsschwankung größeres Gewicht beilegen will, in jedem Falle das atmosphärische Potentialgefälle zum Zustandekommen der Empfangsstörung die primäre Ursache vorstellt.

Möglichkeit und Prinzip einer Schutzvorrichtung.

Auf Grund dieser Gesichtspunkte erschien es nicht aussichtslos, an den drahtlos-telegraphischen Antennen eine Schutzvorrichtung gegen die Empfangsstörung anzubringen. Ein solches Schutzsystem muß die Aufgabe erfüllen, die ganze Antenne oder ihre einzelnen Leiter den Wirkungen des atmosphärischen Potentialgefälles zu entziehen, doch so, daß nicht gleichzeitig die Wirkung der ankommenden drahtlos-telegraphischen Wellen beeinträchtigt wird. Es kann also nicht angehen, den Luftleiter, beispielsweise eine Linearantenne, einfach nach Art eines Faradayschen Käfigs zu umgeben (Abb. 55). Ein derartiger Schutz würde zwar bestimmt die Wirkungen des elektrostatischen Erdfeldes abhalten, so daß man die Erscheinung der Empfangsstörung nicht an ihr wahrnehmen könnte, aber er würde auch

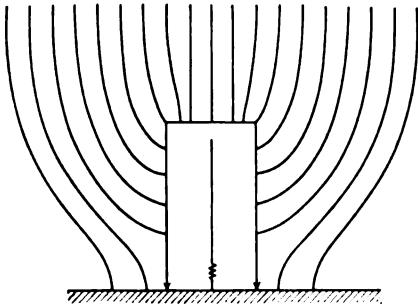


Abb. 55. Kraftlinienverlauf über Käfig.

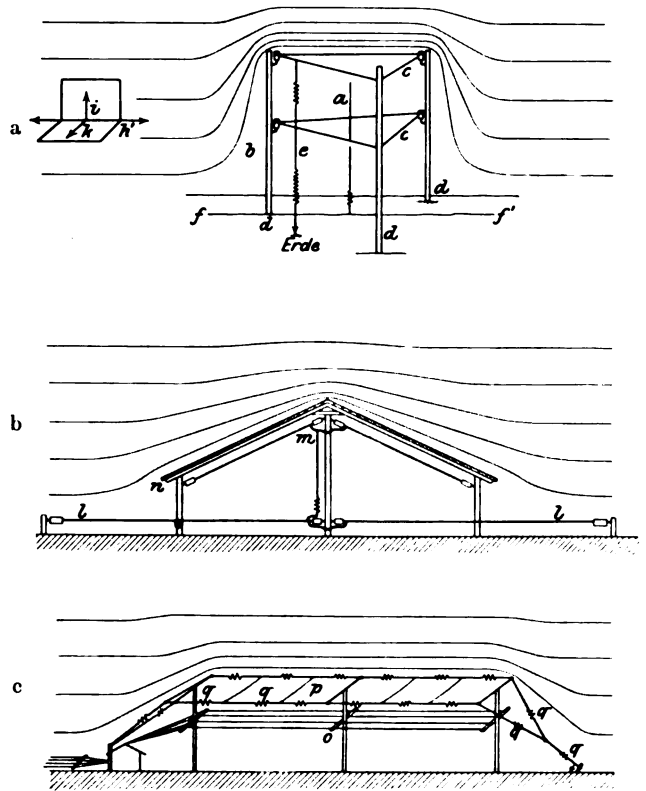


Abb. 56. Schutzsysteme.

verhindern, daß die elektromagnetischen Wellen einer Gegenstation ungeschwächt zur Antenne gelangen können. Ein Schutzsystem, das den eingangs gestellten Forderungen entsprechen soll, muß vielmehr nach einem doppelten Gesichtspunkt konstruiert sein.

Es ist erforderlich, daß um die Antenne ein Leitersystem vorhanden ist, das die äußere Form des vor den Wirkungen des Erdfeldes abzuschirmenden Raumes begrenzt. Dies System möge als „Formsystem“ bezeichnet werden. Die Leiter dieses Systems dürfen aber nicht willkürlich orientiert sein, sondern sie sind so zu verlegen, daß sie in Richtung des elektrischen Vektors der ankommenden oder der die Antenne verlassenden Wellen möglichst keine Erstreckungskomponente besitzen.

Alle Leiter dieses Formsystems sind dann durch eine „Ausgleichleitung“, die zweckmäßig durch Ohmsche oder Selbstinduktionswiderstände schwingungsfähig gemacht ist, unter sich zu verbinden und an Erde zu legen.

Schema eines Antennenschutzes an einer Linearantenne.

Abbildung 56 zeigt schematisch das Schutzsystem für eine lineare Antenne a. Die parallelen Drähte c c stellen das Formsyst \ddot{u} m vor, auf ihnen enden im wesentlichen alle Kraftlinien des erdelektrischen Feldes, so da β der Innenraum frei von den Wirkungen des Erdfeldes bleibt. Alle Leiter dieses Formsyst \ddot{u} ms sind unter sich verbunden und geerdet durch die schwingungsunf \ddot{a} hige Ausgleichsleitung c. Treffen oder verlassen nun elektromagnetische Wellen mit horizontaler Fortpflanzungsrichtung h h', deren elektrische Feldintensit \ddot{a} t i in einer vertikalen Ebene und deren magnetische Feldintensit \ddot{a} t h in einer horizontalen Ebene liegt, die Antenne, so wird die Energie der Strahlung durch die Schutzvorrichtung nicht wesentlich absorbiert oder reflektiert.

Die ganze Anordnung stellt somit eine Kombination zwischen Faradayschen K \ddot{a} fig und Hertzschen Polarisationsgitter dar, das auf Durchl \ddot{a} ssigkeit orientiert ist. Da β die eine Ausgleichsleitung c in Richtung der elektrischen Feldintensit \ddot{a} t verl \ddot{a} uft, kann zu bemerkenswerten Absorptionen oder Dissymmetrien nicht f \ddot{u} hren; man kann sie zudem abschnittsweise noch in verschiedenen Azimuten in bezug auf a anordnen.

Schema eines Antennenschutzes an einer Schirmantenne.

Weniger, um eine f \ddot{u} r die Praxis wichtige Form des Antennenschutzes zu zeigen, als vielmehr, um das Wesentliche des Schutzprinzips nochmals in anderer Form vorzuf \ddot{u} hren, ist in Abbildung 56 b eine Schirmantenne mit Gegengewicht dargestellt, die sich in einer h \ddot{u} lzernen Halle eingebaut befindet. Das Holz n nimmt als Halbleiter Erdpotential an und deformiert die lu \ddot{u} ftelektrischen Potentialfl \ddot{a} chen. Das Drahtgebilde m und l ist also, wie man es f \ddot{u} r ein im Innern einer Baulichkeit eingeschlossenes System erwarten darf, vor den Wirkungen des elektrostatischen Erdfeldes gesch \ddot{u} tzt. Die d \ddot{u} nnen Bretter mit ihrer relativ geringen Leitf \ddot{a} higkeit werden namentlich, wenn sie horizontal verbaut sind, die ein- und austretenden Wellen nur im geringen Grade absorbieren. Bei diesem Schutz stellen also die Bretter gleichzeitig Form und Ausgleichsystem vor.

Schema eines Antennenschutzes an einer gerichteten Antenne.

Von gr \ddot{o} o \ddot{u} erem Interesse f \ddot{u} r die Praxis d \ddot{u} rft \ddot{e} die Abbildung 56 c dargestellte gesch \ddot{u} tzte gerichtete Antenne sein. Es kann unma β geblich geraten werden, in den Kolonien, namentlich in dem wegen seiner l \ddot{a} stigen Empfangsst \ddot{o} rungen ber \ddot{u} chtigten Kamerun, dieses sehr einfach anzubringende Schutzsystem versuchsweise zu realisieren. Die Leiter des Formsyst \ddot{u} ms P verlaufen so \ddot{u} ber der Antenne O, da β sie in Richtung des elektrischen Vektors keine Erstreckungskomponente haben. Die Elemente q des Ausgleichsystems sind schwingungsunf \ddot{a} hig gemacht und k \ddot{o} nnen gleichzeitig zur Befestigung von P dienen.

Beschreibung eines ausgeführten Schutzes.

Um das im bisherigen beschriebene Verfahren zu erproben, wurde eine an Mast 9 gespannte Linearantenne mit einem aus Formsystem und Ausgleichsleitung bestehenden Schutzsystem umgeben. Die Anordnung war folgendermaßen hergestellt: An den Ecken eines mit Drähten versteiften, aus Bambusstangen bestehenden, quadratischen Rahmens von ca. 1,5 m Seitenlänge wurden vier Bindfäden von je ca. 28 m Länge befestigt, die von 0,5 m zu 0,5 m kleine Drahtösen trugen. Der Bambusrahmen ließ sich so, daß er horizontal schwebte, an dem ca. 28 m hohen Mast emporziehen (vgl. Abb. 23). Die Enden der vier Bindfäden waren so auf dem Dache des Registrierschuppens 87 befestigt, daß die Fäden einen parallelepipedischen Raum begrenzten, der allerdings, da der Schuppen einige Meter seitlich vom Mast entfernt steht, einen schwachen Durchgang besaß. In die Ösen an den Bindfäden wurden Kupferdrähte von je 6 m Länge und 1,0 mm Durchmesser eingezogen, so daß im Ganzen 55 unabhängige horizontale Quadrate aus Kupferdraht entstanden. Ein dünner Draht von 0,4 mm Durchmesser war an einem der Bindfäden als Ausgleichsleitung entlang geführt und mit allen einzelnen Quadraten, den Leitern des Fernsystems, verbunden worden. Innerhalb dieses so geschaffenen Schutzsystemes wurde die aus einer 3 mm Kupferlitze gebildete Antenne gespannt. Oben diente zu ihrer Befestigung ein im Mittelpunkt des Bambusrahmens angebrachtes und von einem großen Glastrichter geschütztes Hartgummistück. Unten war sie an die gleichfalls im diagonalen Schnittpunkt des Basisquadrates befindliche Deckendurchführung der Hütte 7 angeschlossen.

Meßanordnung.

Damit das Verhalten dieser so geschützten Antenne richtig eingeschätzt werden konnte, wurde von einem zweiten Arm des Holzkreuzes ein gleichlanger aus derselben Kupferlitze bestehender Antennenleiter als „Vergleichsantenne“ zur Hütte geführt. Vor und nach jedem Versuch mit der „geschützten“ Antenne konnte die Vergleichsantenne an den registrierenden Empfänger gelegt und so kontrolliert werden, ob die Verhältnisse im wesentlichen konstant geblieben waren. Die Ausgleichsleitung des Antenneschutzes ließ sich entweder direkt oder durch eine Drosselspule von 100 Henry Selbstinduktion und 10 Ohm Widerstand erden. Im Empfänger war wie bisher die durch variable Selbstinduktion abstimmbare Antenne induktiv lose mit dem geschlossenen Schwingungskreis gekoppelt, der einen Drehplattenkondensator und ein Brandessesches Thermoelement mit angeschlossenem Galvanometer enthielt. An Stelle dieses Registrierempfängers wurde mehrfach auch der Hörempfänger mit Thermozelle aus Hütte 4 angelegt.

Ergebnisse.

Wenn der Hörempfänger angeschlossen war, so zeigten sich für den Fall, daß das Schutzsystem durch die Drosselspule an Erde lag, keine Geräusche im Telephonhörer, während die Vergleichsantenne das normale, wenngleich hier selbstredend

auch nicht sehr laute Rauschen vernehmen ließ. War die Ausgleichsleitung direkt geerdet, so wurde im Telephonhörer eine schwache Empfangsstörung wahrgenommen. Es ist also erforderlich, das Schutzsystem schwingungsunfähig zu erhalten.

Bei dem Empfang drahtlostelegraphischer Wellen zeigte sich, daß, wenn jedesmal auf maximalen Ausschlag eingestellt wurde, der Ausschlag am größten war bei direkt geerdeter Ausgleichsleitung. Er zeigte dann im Mittel etwa 2,6 mal so große Werte als bei Benutzung der Vergleichsantenne. Wurde die Ausgleichsleitung durch die Drosselspule an Erde gelegt, so ergab sich der Galvanometerausschlag im Mittel als das 1,2 fache des Ausschlages, den man im Optimum mit der Vergleichsleitung erhielt.

In jedem Falle zeigte sich, daß ein derartiges mit schwingungsunfähiger Ausgleichsleitung versehenes Schutzsystem bis zu einem gewissen Grade als Faraday-scher Käfig wirkt und doch die Wellen zur Antenne treten läßt. Die Güte der geschützten Antenne für den Empfang schien wegen der Kapazitätserhöhung sogar eher gehoben zu sein. Der Schutz wird praktisch vollständig sein für alle die zahlreichen „Strömungsstörungen“. Nur sich ausbreitende Potentialschwankungen, also etwa von fernen Blitzentladungen ausgehende Störungen mit vertikaler elektrischer Komponente können sich noch bis zu einem gewissen Grade äußern.

Schluß.

Das positive Ergebnis von Abschnitt V gab Veranlassung zu weiteren detaillierteren Fragestellungen. Da an sich in Aussicht genommen ist, den Registrierschuppen 7 auch während der Fernversuche in Betrieb zu belassen, so bietet sich Gelegenheit, die bisher vorliegenden Messungen relativ mühelos zu erweitern.

Darüber, ob ein nach diesem Prinzip ausgebildetes Schutzsystem auch unter anderen klimatischen Verhältnissen, speziell in den Tropen brauchbare Dienste leistet, werden sich hoffentlich bald Erfahrungen sammeln lassen. Die Ursache des teilweisen Versagens der bisherigen Schutzeinrichtungen erscheint jedenfalls geklärt. Bei Marconi bleibt die Antenne trotz der Erdung im Spannungsknoten schwingungsfähig, bei Greenleaf Whistler Pickard verursachen die zu den Antennenleitern parallelen Schutzdrähte eine Energieabsorption.

Die Erörterung und Beobachtung der luftelektrischen Erscheinungen, die in der unmittelbaren Nachbarschaft einer Antenne eine Rolle spielen, hat auf alle Fälle erwiesen, daß die Ursache der Reichweitenänderung im Zwischenmittel zu suchen ist. Ihrer Erörterung wird die folgende Abhandlung gewidmet sein. Wo die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung unbestimmt und qualitativ geblieben sind, wurde es stets betont. Vielleicht, daß die eine oder andere der Lücken von anderer Seite ausgefüllt werden kann.

Bei der Durchführung der Arbeit habe ich Hilfe von vielen Seiten gefunden.

Vor allem muß ich dem Verein deutscher Ingenieure, der diese drahtlos-telegraphische Untersuchung durch Gewährung eines namhaften Betrages ermöglichte und auch dem zweiten Teil der Untersuchung seine Unterstützung gewährte, von Herzen danken.

Der K. B. Akademie der Wissenschaften verdanke ich mehrere luftelektrische Anordnungen, die zum Teil auch in dieser Arbeit verwendet wurden. Die Isarwerke G. m. b. H. gewährten kostenlos Strom und stellten mehrere Apparate zur Verfügung.

Das gütige Entgegenkommen Professor Eberts ermöglichte die Verwendung zahlreicher Instrumente der Sammlung des Physikalischen Instituts der K. Techn. Hochschule München. Mehrere Teile der Anordnung durften in der Institutswerkstatt hergestellt werden.

Einer Stiftung des Berliner Vereins für Luftschiffahrt habe ich die Aufnahme der Untersuchung in die Sammlung „Luftfahrt und Wissenschaft“ zu verdanken.

Bei der Aufstellung der Anordnung und bei den ersten Beobachtungen unterstützte mich gelegentlich in liebenswürdiger und sachkundiger Weise Herr Ingenieur P. P. Tafel, des ferneren die Herren cand. Baumann, Kernstock, Reimers und Eppen, und ich kann diesen ersten Teil der Untersuchung nicht beschließen, ohne auch der freudigsten, aufopfernden Hilfe meiner lieben Frau dankbar zu gedenken.

Zusammenfassung.

Nach einer Beschreibung der bei der drahtlosen Telegraphie auftretenden Erscheinungen der Empfangsstörung und der Reichweitenänderung wird ein Programm dargelegt, diese Störungsvorgänge unter den Gesichtspunkten der luftelektrischen Forschung zu untersuchen. Um den Einfluß des Zwischenmittels festzustellen, sind Nahversuche und Fernversuche vorgesehen.

Der vorliegende Teil der Untersuchung enthält die Ergebnisse der Nahversuche und erörtert die luftelektrischen Vorgänge in der Nachbarschaft einer Antenne. Es werden die in Frage kommenden luftelektrischen Begriffe kurz eingeführt und der Versuchsaufbau beschrieben.

Der erste Abschnitt der Versuche beschäftigt sich mit den Verhältnissen des elektrostatischen Erdfeldes in der Nähe der Antennen. Es werden für zahlreiche Antennenformen die Diagramme bestimmt und gezeichnet sowie Tabellen gegeben, um für vorhandene Antennen näherungsweise die Feldverteilung zu ermitteln.

Der zweite Abschnitt (Arbeit des Herrn Kernstock) untersucht die Verhältnisse, die dadurch entstehen, daß sich radioaktive Substanzen auf den Antennenleitern niederschlagen. Es zeigt sich, daß in einem Luftzylinder von ca. 10 cm Durchmesser um die Antennenleiter durch den Zerfall von Ra A und Th A eine Erhöhung der Ionenbildungszahl auf etwa das Hundertfache gegenüber der freien Atmosphäre eintritt. Auf einer mit Hochfrequenz beschickten Antenne scheinen sich die radioaktiven Induktionen nur in geringerem Grade abzulagern.

Im dritten Abschnitt wird versucht, einen Näherungsausdruck für den Stromstärkebetrag aufzustellen, den man im Erdungsquerschnitt einer Antenne bei gegebenen Verhältnissen erwarten kann. Unter Bezugnahme hierauf wird der Strom in einer 42 m hohen Schirmantenne registriert. Die Stromwerte entsprechen diesem Ausdruck; sie schwanken im allgemeinen zwischen $\pm 1,0 \cdot 10^{-7}$ und $5,0 \cdot 10^{-7}$ Ampere, erreichen aber auch höhere Beträge. Wie gleichzeitige Potentialmessungen ergeben, herrscht zwischen Potentialgefälle und Ausgleichstrom nahezu Parallelismus. Die Schwankungen des Ausgleichstromes haben wie das Potentialgefälle eine tägliche Periode mit einem doppelten Maximum früh und nachmittags. Bei raschen Änderungen des Ausgleichstromes oder Potentialgefälles treten in der Antenne Hochfrequenzströme auf, die im wesentlichen die Empfangsstörung ausmachen.

In Abschnitt IV wird untersucht, inwieweit die Aktivierung der Antennen-drähte energieabsorbierend wirkt. Bei im Erdfeld aktivierten Leitern fallen die Versuche negativ aus. Bei künstlich kräftigst mit Radium F aktivierten Drähten tritt eine Energieabsorption auf von etwa 7 %. Eine Erklärung der Reichweitenänderung auf Grund von Vorgängen in der Nachbarschaft der Antennen erscheint ausgeschlossen. Bei Nahversuchen ist eine tägliche Periode in der Übertragungsgüte nicht wahrzunehmen.

Auf Grund der Tatsache, daß die Empfangsstörung direkt oder indirekt durch das Potentialgefälle bedingt ist, wird im Abschnitt V ein Antennenschutz gegen die Empfangsstörung angegeben und erprobt, dessen Wesen in einer Kombination eines Faradayschen Käfigs mit einem Hertzschen Polarisationsgitter besteht.

Luftfahrt und Wissenschaft

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson**, Dipl.-Ing. **C. Eberhardt**,
Gerichtsassessor **J. Sticker**, Professor Dr. **R. Süring**,
Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr. **H. Zimmermann**

Heft 3

Zur Physiologie und Hygiene der Luftfahrt

Von

N. Zuntz



Berlin

Verlag von Julius Springer

1912

East Engineering
Library

TL

545-

.L949

Zur Physiologie und Hygiene der Luftfahrt

Von

Dr. med. N. Zuntz

Professor der Physiologie an der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin

Mit 11 Textfiguren



Berlin

Verlag von Julius Springer

1912

Stiftung des
Magdeburger Vereins für Luftschiffahrt, Magdeburg.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Der Arbeitsaufwand beim Fliegen	1
II. Allgemeines und Umgrenzung der Aufgabe	5
III. Die Sinnesorgane in ihrer Beziehung zur Luftfahrt	9
A. Der Haut- und Muskelsinn	10
B. Der Gesichtssinn	13
C. Die mit dem Hörorgan assoziierten Lageempfindungen. Der statische Sinn	13
IV. Bedeutung der Ballongase für die Gesundheit des Luftfahrers	30
V. Einwirkung größerer Höhen auf Kreislauf und Atmung	35
VI. Erscheinungen des Sauerstoffmangels in geringen Höhen	55
VII. Sauerstoffatmung als Mittel zur Erreichung größerer Höhen	57
VIII. Berechnung der höchsten erreichbaren Höhen	60

Wie die ältesten Versuche des Menschen, sich in die Luft zu erheben, den Flug des Vogels zum Muster nahmen, so liegt es auch nahe, zur Ergründung der Einwirkungen des Aufenthalts in der freien Atmosphäre auf unseren Organismus und zur bewußten Anpassung unseres Körpers an diesen Aufenthalt die Organisation des Vogelkörpers zu studieren und uns zu fragen, ob wir daraus Lehren für unser Verhalten in der Luft ziehen können. — Bis jetzt hat uns das Studium des Vogelfluges wesentlich gefördert bei der Konstruktion der Flugzeuge, welche durch mechanische Hilfsmittel die Wirkung der Schwere überwinden, also durch ähnliche Kräfte, wie sie der Vogel entfaltet, den Aufenthalt und die Fortbewegung in der Luft ermöglichen. — Auf diese mechanischen Hilfsmittel des Fliegens beziehen sich aber auch fast alle Unterschiede im Körperbau, welche den Vogel von den Landtieren unterscheiden. Die Besonderheiten seiner Atmung, seines Blutkreislaufs stehen nicht sowohl mit dem Aufenthalt in der Luft an sich als vielmehr mit dem sehr großen Aufwand an Muskelkraft, welchen derselbe nötig macht, und mit den mechanischen Anordnungen, welche diese konzentriert auf die Flügel wirken lassen, in Beziehung. Diese mechanischen Leistungen, für welche unsere Muskulatur weitaus zu schwach wäre, haben wir ja ganz und gar auf die Kraftmaschinen abgeschoben, welche unsere Flugzeuge treiben.

I. Der Arbeitsaufwand beim Fliegen.

Über die zum Fliegen nötige Arbeit ist es schwer, eine exakte Vorstellung zu gewinnen. In den Abhandlungen, welche sich mit dem Arbeitsaufwande des fliegenden Vogels beschäftigen, stoßen wir auf viele Unsicherheiten und Widersprüche. Wer sich mit dieser Frage eingehender beschäftigen will, sei auf die interessante Abhandlung von Prechtel aus dem Jahre 1846 verwiesen: „Untersuchungen über den Flug der Vögel“. Hier finden sich schöne morphologische Studien über den anatomischen Bau des Vogelkörpers und eingehende mechanische Studien über Luftwiderstand und die aus ihm einerseits, dem Bau und der Bewegung der Flügel andererseits sich ableitende Mechanik des Fluges bei verschiedenen Vogelarten. — Eine Fülle wertvollen Materials enthält die im Jahre 1890 erschienene große Monographie von E. J. Marey: „Le vol des oiseaux“. Hier kommt die Momentphotographie in Form von gut ausmeßbaren Serien zu ausgiebiger Verwendung. Bis zu 50 sukzessive Aufnahmen in einer Sekunde liefern das Material, welches in einem Schlußkapitel von Labouret einer eingehenderen mathematischen Analyse unterzogen wird. — Parseval: „Die Mechanik des Vogelfluges“ (Wiesbaden 1889), verwendet schon einen Teil des von Marey in kurzen Mitteilungen veröffentlichten

Materials; er behandelt den Vogelflug mit stetem Ausblick auf die Konstruktion von Flugmaschinen.

Ahlborn: „Zur Mechanik des Vogelfluges“ (Hamburg 1896), hat besonders den Segelflug der Vögel und seine mechanischen Bedingungen untersucht. Er erörtert genau, unter welchen Bedingungen der Vogel durch alleinige Benutzung der Energie des Windes emporsteigen kann. — Die Möglichkeit, fast ganz ohne eigene mechanische Kraft bei geschickter Benutzung des Windes zu fliegen, zeigt, wie schwer es ist, den Energieaufwand des Vogels und in Parallele damit die nötige Kraft der Maschine des Flugzeugs zu berechnen. Der Grenzfall nach oben ist bei unbewegter Luft offenbar dadurch gegeben, daß allein durch die mechanische Verdrängung der unter den Flugflächen befindlichen Luft die Schwere überwunden wird. Die Muskulatur müßte dann in jeder Sekunde eine Arbeit leisten entsprechend der Hebung des Vogelkörpers um 4,9 m, mit anderen Worten, es müßten für jedes Kilogramm Körpergewicht in der Sekunde 4,9 mkg Arbeit aufgewendet werden, um den Körper in der Luft schwebend zu halten. Babinet, der diesen Fall als allgemein gültig für die Berechnung der Flugarbeit ansieht, begegnet mit Recht dem scharfen Widerspruch von Marey (a. a. O. S. 328) und vielen anderen Forschern. Je nach der Stärke des Windes und der Geschicklichkeit, seine Energie zur Hebung des Körpers zu benutzen, wird der Arbeitsaufwand zwischen 0 und 4,9 mkg pro Sekunde schwanken; im Momente des Abfluges vom Boden wird er sicher diesen letzteren Wert noch übersteigen, und das gleiche gilt für den Kampf gegen abwärts gerichtete Luftströmungen. — Aus dieser Betrachtung geht hervor, daß ein Mensch von 70 kg Gewicht, wenn er sich ohne Hilfe des Windes in die Luft erheben will, mindestens eine Sekundenarbeit von $70 \times 4,9 = 343$ mkg = 4,57 Pferdekraften aufwenden müßte. Entsprechend ein Flugzeug, das mit aller Belastung 400 kg wiege, 1960 mkg = 26 PS. Diese Schätzung des minimalen Kraftbedarfs eines Flugzeugs dürfte mit den jetzt zahlreich genug vorliegenden praktischen Erfahrungen leidlich harmonieren. Hiermit ist aber schon die Unmöglichkeit, daß der Mensch mit eigenen Muskelkräften fliege, gegeben. Ich habe vor Jahren die maximale Arbeit, welche ein Mensch durch rasches Bergauflaufen leisten kann, bestimmt; sie beträgt etwa 2 Pferdekraften = 150 mkg; solche Arbeit kann aber nur etwa $\frac{1}{2}$ Min. lang geleistet werden; da 1 mkg 1,3 ccm Sauerstoff erfordert, bedingt sie innerhalb dieser Zeit einen Verbrauch von $1,3 \times 150 \times 30 = 5850$ ccm Sauerstoff, d. h. 48 mal soviel als der Mensch in absoluter Ruhe verbraucht. Unser Atemapparat kann eine solche Sauerstoffmenge nicht herbeischaffen. Wir sind deshalb nicht einmal für ganz kurze Zeit imstande so viel Muskelarbeit aufzuwenden, wie nötig wäre, um uns mit Hilfe eines idealen Flügelapparates in die Luft zu erheben. Dazu kommt, daß unsere Muskeln für die Aufgabe, einen Flügelmechanismus zu betätigen, äußerst ungünstig angeordnet sind, im Gegensatze zum Vogel, bei dem der mächtige, den Schlag des Flügels bewirkende Brustmuskel an dem unbeweglich mit der Wirbelsäule verbundenen Brustbeinkamm eine starre Ursprungsfläche hat und mit seiner ganzen Zugkraft auf den Oberarm, den beweglichen Träger des Flügels, wirkt. Dabei wiegt dieser eine Muskel z. B. beim Rebhuhn 14 Proz., mit seinem Antagonisten, dem Flügelheber, zusammen gar 19 Proz. des Körpergewichts, d. h. die Hälfte des Gewichts der ganzen Muskulatur. — Aus allen vorliegenden Untersuchungen

geht hervor, daß beim Vorhandensein hinreichend großer und gut geformter Flugflächen die zum Fliegen nötige Arbeit proportional der Körpermasse, wahrscheinlich sogar in geringerem Verhältnis als diese wächst. Hiernach würde es kaum eine Grenze der Größe der Vögel geben, wenn die Leistungsfähigkeit der Muskulatur ihrem Gewicht und damit auch dem Gewichte des ganzen Tieres proportional wäre. Dies ist aber nicht der Fall. Im ganzen Tierreich, bei Kaltblütern, wie bei Warmblütern, kann man nachweisen, daß die Intensität der krafterzeugenden Oxydationsprozesse mit der Größe der Organismen abnimmt. Ein Pferd produziert freilich mehr Energie als eine Maus, aber 1 kg Maus bedeutend mehr als 1 kg Pferd. Schon in der Ruhe zersetzen kleinere Organismen auf gleiches Körpergewicht eine viel größere Nährstoffmenge. Der Verbrauch an Nährstoffen, oder, was damit gleichwertig ist, der Verbrauch an Sauerstoff und die Produktion von Wärme resp. äquivalenten Energieformen ist bei verschiedenen Lebewesen dem Quadrat der dritten Wurzel ihres Gewichts proportional. Es gilt also für 2 Tiere, deren Gewichte P und p und deren Sauerstoffverbrauch S und s beträgt, die Proportion

$$S : s = P^{2/3} : p^{2/3}$$

Für den Verbrauch pro 1 kg Körpergewicht aber folgt daraus:

$$\begin{aligned} \frac{S}{P} : \frac{s}{p} &= \frac{P^{2/3}}{P} : \frac{p^{2/3}}{p} \\ &= P^{-1/3} : p^{-1/3} \end{aligned}$$

Es beträgt nun der Verbrauch des 70 000 g wiegenden Menschen pro kg und Stunde = 210 ccm Sauerstoff in absoluter Ruhe; hieraus berechnet sich der eines 20 g wiegenden Finken nach der Proportion:

$$210 : x = 70\,000^{-1/3} : 20^{-1/3}$$

$$x = 3\,188 \text{ ccm Sauerstoff pro 1 kg und 1 Stunde,}$$

d. h. der Finke wird in der Ruhe etwa 3188 ccm O pro Kilogramm aufnehmen, während der Mensch 210 ccm verbraucht. Wir sahen, daß zum Emporsteigen in die Luft 4,9 mkg pro kg und Sekunde oder 17 640 mkg pro Stunde zur Verfügung sein müssen. Nun erfordert nach meinen Untersuchungen, die an Menschen, Pferden, Rindern und Hunden angestellt sind, 1 mkg Arbeit rund 1,3 ccm Sauerstoff. Wir dürfen annehmen daß dies beim Vogel nicht anders ist. Eine stündliche Arbeit von 17 640 mkg würde demnach rund 23 l Sauerstoff erfordern, das ist das 100 fache der Sauerstoffmenge, welche der ruhende Mensch, das $5\frac{1}{2}$ fache von der welche der ruhende Finke verbraucht. Ein Mensch, der sich in lebhaftem Spiel oder beim Bergansteigen nach Behagen tummelt, braucht etwa 5 mal soviel wie in der Ruhe; ein Pferd bei bequemer Arbeit ebenso, bei sehr angestrenzter bis zum 18 fachen. Ein Sperling, der in einem geräumigen Käfig seinem Behagen überlassen ist, braucht nach Regnaults und Reisetts direkten Bestimmungen etwa 7000—10000 ccm O pro kg und Stunde (im Durchschnitt von 24 Stunden, worin die Zeit des Schlafens einbegriffen ist) d. h. sein Verbrauch beim Umherhüpfen im Käfig braucht nicht einmal verdoppelt zu werden, damit er ohne Hilfe des Windes fliegen kann.

Das eben dargelegte Gesetz, wonach die Intensität der kraftliefernden Oxydationsprozesse dem Quadrat der dritten Wurzel des Körpergewichts proportional

ist, bedeutet mit anderen Worten, daß sie der Körperoberfläche proportional ist. Bei geometrisch ähnlichen Figuren, und das sind die verschiedenen Tiere, wenigstens in gewisser Annäherung, ist ja die Oberfläche dem Quadrate, die Masse dem Cubus einer linearen Dimension, etwa der Körperlänge, proportional. Wenn wir Tiere mit sehr gedrungenem Körperbau und kleinen Extremitäten mit langgestreckten, deren Extremitäten und sonstige Anhänge (z. B. die Ohren beim Kaninchen) besonders stark entwickelt sind, vergleichen, fällt freilich der Faktor, mit welchem wir das Quadrat der dritten Wurzel des Gewichts multiplizieren müssen, um die wirkliche Oberfläche zu finden, ziemlich verschieden aus, aber diese Differenzen kommen wenig in Betracht, wenn es sich um sehr kleine und sehr große Tiere handelt. Es ist übrigens noch nicht sicher entschieden, ob die Größe des Stoffwechsels mehr durch die wirkliche Körperoberfläche bestimmt wird oder durch andere Momente, welche dem Ausdruck $P^{1/4}$ proportional sind. Ursprünglich glaubte man, das „Oberflächengesetz“ gelte nur für Warmblüter und es sei bedingt durch den der Körperoberfläche proportionalen Wärmeverlust der Tiere (Bergmann, Rubner, Richet). Man sagte sich, ein Tier, das eine konstante, die Temperatur der Umgebung erheblich übertreffende Eigenwärme hat, kann diese nur erhalten, wenn seine Wärmeezeugung dem Verluste, d. h. der ausstrahlenden Oberfläche, entspricht. Dies wäre richtig, wenn nicht die Größe der Ausstrahlung je nach der äußeren Temperatur und der Beschaffenheit der Haut (Fettschichten, Haar-, Federkleid) ganz außerordentlich variierte. Der entscheidende Beweis gegen die ausschlaggebende Bedeutung des Wärmeverlustes für die Größe des Minimalstoffwechsels (Erhaltungsumsatzes) der Tiere ist aber die Tatsache, daß das Oberflächengesetz den Stoffwechsel der Kaltblüter (Amphibien, Reptilien, Fische) ebenso wie den der Warmblüter bestimmt. Es müssen also tiefer liegende Ursachen für dieses Gesetz bestehen. v. Hösslin hat eine ganze Reihe solcher nachgewiesen. Von ihnen sei erwähnt die Zunahme des für die Lokomotion mit bestimmter Geschwindigkeit nötigen relativen Energieaufwandes bei kleineren Tieren. Man kann durch die mechanische Analyse der Bewegungen der Extremitäten beim Laufen nachweisen, daß die zur Bewegung der Körpermasse mit bestimmter Geschwindigkeit erforderliche Arbeit nicht proportional dieser Masse, sondern proportional dem Quadrat der Länge der Gliedmaßen wächst, d. h. wieder proportional dem Quadrat der dritten Wurzel des Körpergewichts. Die tatsächliche Richtigkeit dieser Beziehung hat Slowtzoff unter meiner Leitung durch Messung des Sauerstoffverbrauchs laufender Hunde von 4 bis zu 40 kg Gewicht nachgewiesen. — Für die Bewegung der Fische im Wasser hat v. Hösslin die Gültigkeit des Gesetzes abgeleitet, und sicher besteht sie auch beim fliegenden Vogel. Es gibt noch eine ganze Reihe anderer Gründe, welche mitwirken, daß die Leistungen proportional der Oberfläche wachsen. Dazu kommt, daß die Versorgung des Körpers mit Nährmaterial auch um so schwieriger wird, je mehr die Masse des Körpers wächst; die Aufsaugung der Nahrung hängt von der Oberfläche, nicht von der Masse des Darmkanals ab; das zirkulierende Blut hat um so weitere Wege zurückzulegen, ehe es die Kapillaren der Organe erreicht, von denen aus es die Zellen ernährt, je größer das Tier ist. Da nun die Geschwindigkeit des Blutstromes eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf, wenn die Arbeit des Herzens nicht ins ungebührliche wachsen soll, braucht der

Blutstrom vom Herzen zu den Kapillaren und von diesen durch die Venen zurück zum Herzen um so mehr Zeit, je größer das Tier ist. Die Zeit eines Blutumlaufs ist, wie Vierordt durch exakte Messungen zuerst nachgewiesen hat, dem Quadrat der dritten Wurzel des Körpergewichts proportional. Da nun die Blutmenge bei allen Warmblütern ungefähr dieselbe ist ($\frac{1}{13}$ — $\frac{1}{22}$ des Tiergewichts), ist die Versorgung der Organe mit Blut, also auch mit Nährstoffen und mit Sauerstoff um so reichlicher, je kleiner das Tier ist. Damit ist aber gegeben, daß große Tiere über den Arbeitsaufwand, der beim Fliegen unter Umständen nötig ist, nicht verfügen. — Die Größe der fliegenden Tiere mußte eine beschränkte bleiben, auch wenn das größere Tier dieselbe Masse etwas leichter in der Luft schwebend erhalten könnte als das kleinere. — Fliegende Tiere von der Größe und dem Gewicht des Menschen kann es gemäß den Beziehungen, welche zwischen Körpergewicht und Arbeitsleistungen bestehen, nicht geben. Wenn man auf Grund der gefundenen Knochenreste annimmt, daß in früheren Erdperioden sehr große fliegende Saurier existiert haben, so bleiben doch alle Hypothesen über die Art ihrer Fortbewegung in der Luft äußerst unsicher. Vielleicht haben sie ihren Flugapparat nur benutzt, um sich aus der Höhe schräg abwärts auf die Beute zu stürzen. Ein sich Erheben in die Luft unter entsprechender Benutzung des Windes erscheint auch für solche Riesenorganismen möglich, nicht aber ein von Wind und Wetter ganz unabhängiges Fliegen.

Da wir bei unseren Flugversuchen die eigene Muskelkraft ganz ausgeschaltet haben und uns wenigstens heute noch ausschließlich der Explosionsmotore bedienen, welche auf 1 kg Gewicht etwa so viel Arbeit ohne Ermüdung leisten, wie 60 kg Mensch nur kurze Zeit aufbringen können, dürfen wir den fliegenden Menschen nicht mit dem ganzen Vogel vergleichen. Er entspricht in der Flugmaschine nur dem Hirn oder vielmehr dem gesamten Nervensystem des Vogels mit Einschluß seiner Sinnesorgane, das auf komplizierte Weise die Arbeit der Muskulatur regelt und sie in eminent zweckmäßiger Weise den in der Luft von Moment zu Moment wechselnden äußeren Bedingungen anpaßt.

II. Allgemeines und Umgrenzung der Aufgabe.

Der Schwerpunkt der besonderen Leistungen, welche die Aviatik von uns fordert, liegt auf psychischem Gebiete in weitestem Umfange. Sie erfordert Besonderheiten in der Leistung unserer Sinne und in der Verwertung der Sinnesindrücke; nur bei Hochfahrten kommen auch die durch die Luftverdünnung bedingten Störungen des Stoffwechsels in Betracht.

Wir teilen daher zweckmäßig unsere Aufgabe in die Behandlung der beiden Hauptkapitel

Sinnesorgane und Reaktion auf deren Erregung.

Atmung in großen Höhen und bei raschem Höhenwechsel.

Für die Handhabung der Flugzeuge kommt besonders das erste Kapitel in Betracht, weil wir hier unter ganz ungewohnten Verhältnissen unsere Sinne gebrauchen und auf deren Eindrücke zweckmäßig reagieren müssen. Die Atmung

spielt hauptsächlich wegen ihrer indirekten Einwirkungen auf die Hirntätigkeiten bei jenen Höhenflügen, welche die Grenze von 2000 m übersteigen, eine Rolle; ausschlaggebend ist aber die Leistungsfähigkeit unseres Atemapparates für die Höhengrenzen, welche der Mensch im Freiballon erreichen kann.

Leider ist es nur ein sehr beschränktes Maß von aeronautischen Erfahrungen, welches mir persönlich zur Erörterung der in Frage stehenden Verhältnisse zu Gebote stehen; im Freiballon habe ich nur eine Höhe von 5000 m erreicht; zur Fahrt in Zeppelins „Schwaben“ bot sich mir im vergangenen Jahr einmal Gelegenheit, für die ich der Leitung der Deutschen Luftschiffahrts-Gesellschaft zu besonderem Dank verpflichtet bin. Immerhin förderte diese eine Fahrt meinen Einblick in die Einwirkungen der Motorluftschiffahrt auf unseren Organismus wesentlich, weil sie bei stark böigem Wetter erfolgte und infolge dessen die Einwirkungen der dadurch bedingten Schwankungen des Luftschiffes, jäher Änderungen der Höhenglage und des scharfen Windes bei starkem Angehen des Schiffes gegen den Wind, besonders gut beobachtet werden konnten.

Gegenüber der feierlichen Ruhe im Freiballon, die ja, wenn nicht ganz exzeptionelle Unregelmäßigkeiten des Windes herrschen, vielleicht den erschütterungsfreiesten Zustand darstellt, in dem sich der Mensch überhaupt befinden kann, fühlt man im Motorschiff auf alle Fälle das Ankämpfen gegen den Luftwiderstand. Die dadurch bewirkten Vibrationen der Gondel waren bei meiner Fahrt am 29. Oktober 1911 besonders stark wegen der das Luftschiff zeitweise von der Seite treffenden Windstöße und der den frischen WNW-Wind von 10—11 m/sec. begleitenden heftigen vertikalen Böen. Die Stetigkeit der Fahrt litt auch noch unter dem Umstande, daß das Schiff nur mit zwei Motoren fuhr. Das achterliche Backbordgetriebe war abmontiert. Immerhin blieben die Erschütterungen so gering, daß man leicht in der Gondel schreiben konnte, wenn auch die Schrift zittrig und unruhig wurde, sobald man das Papier auf den Bord oder Tisch auflegte. Unter normalen Verhältnissen soll selbst dies nicht der Fall sein.

Der Intensität nach gleichen die von mir beobachteten Erschütterungen denen, welche wir in einem sehr gut federnden Eisenbahnwaggon empfinden; sie sind aber doch von wesentlich anderem Charakter. — An Stelle der durch die Schienenzwischenräume bedingten Erschütterungen treten Schwingungen der Metallteile des Luftschiffes, welche sich auf die an ihnen mit metallenen Trägern befestigte Kabine übertragen und welche ihren Ursprung wohl im wesentlichen in der Arbeit der Motoren haben. — Die dem Stampfen eines Schiffes vergleichbaren Hebungen und Senkungen der Spitze des Luftschiffes waren bei der Fahrt, an welcher ich teilnahm, ungewöhnlich starke und machten sich auch in der annähernd in der Mitte des ganzen Schiffskörpers angehängten Passagierkabine kräftig geltend. — Überraschend war mir und anderen Teilnehmern der Fahrt, welche bei Seefahrten starke Disposition zur Seekrankheit gezeigt hatten, daß hier sich nicht die leisesten an diese erinnernden Symptome bemerkbar machten. Es muß wohl an der großen Langsamkeit und Regelmäßigkeit, mit der die stampfenden Bewegungen des Luftschiffes erfolgten, liegen, daß dieselben absolut keine unangenehmen Sensationen erzeugten und daß jedes Symptom von Übelkeit oder Schwindel ausblieb. — In bezug auf das Fehlen des Schwindelgefühls

beim Hinabschauen aus der Gondel auf die Erde verhält sich der Aufenthalt in der Kabine des Luftschiffs genau so wie der in der Gondel des Freiballons. Menschen, welche auf hohem Balkon eines Hauses von Schwindel befallen werden, sehen aus der so viel steileren Höhe im Ballon ohne jede ängstliche Empfindung auf die Erde herab¹⁾. — Entsprechend diesem Fehlen jeglicher unbehaglicher Empfindung konnte ich auch bei keinem der Mitfahrenden etwas von jenen Störungen in der Herz-tätigkeit und der Zirkulation des Blutes beobachten, welche bei Seefahrten aufzutreten pflegen. Weder irgendwelche jähe Schwankungen der Pulsfrequenz noch Verengerungen und Erweiterungen der peripheren Arterien, wie sie sich im Erblassen und Erröten des Gesichts kundgeben, waren bei einem der Teilnehmer wahrnehmbar. Dies ist um so bemerkenswerter als die Mehrzahl der Fahrgäste und speziell die mitfahrenden Damen sich niemals vorher in einem Luftballon befunden hatten. Man erkennt hieraus, wie groß das Gefühl der Gefahrlosigkeit und Sicherheit bei den Teilnehmern einer derartigen Fahrt ist. In der Tat muß auch der Ängstlichste, wenn er die Sicherheit der Manövrierung des riesigen Luftschiffs beobachtet, wenn er sieht, wie durch das Zusammenarbeiten der Propeller und Steuer des Schiffes und der dasselbe haltenden Mannschaften die Landung, die Fortbewegung über der Erdoberfläche und die Unterbringung in die Halle mit der Sicherheit der Rangierung eines Eisenbahnzuges erfolgt, jeden Gedanken an Gefahr verlieren. — Wenn man dem Freiballon, der jedem Luftstrom, in dem er sich befindet, willenlos folgen muß, im Momente der Abfahrt ein hoffendes und leise fürchtendes „Glück ab“ mit Recht zruft, so schwindet solche Sorge, wenn man den Zeppelinkreuzer scharf in der gewollten Richtung gegen den Wind ankämpfen sieht, wenn man erkennt, mit welcher Sicherheit sein Lenker aufwärts und abwärts, nach rechts und links das Fahrzeug steuert. Über die Empfindungen bei der Fahrt mit den anderen bewährten Luftschiffsystemen kann ich leider aus eigener Erfahrung Nichts aussagen.

Erst während ich mit Ausarbeitung der folgenden Darlegungen beschäftigt war, bot sich mir Gelegenheit, wenn auch nur auf einer kurzen Passagierfahrt die Empfindungen kennen zu lernen, welche den eigentlichen Flug begleiten. Herr Hirth, der Sieger der Dauerfahrt München—Berlin, der inzwischen auch die oberrheinischen Zuverlässigkeitsflüge und den Flug Berlin—Wien siegreich bestritten hat, hatte die Güte, mit mir bei einigermaßen böigem Wetter einige Runden um den Johannisthaler Flugplatz zu fliegen²⁾. Mit Staunen

¹⁾ Während der Korrektur finde ich in der Naturw. Wochenschrift vom 26. Mai d. Js. S. 326 eine Beobachtung über sehr heftige Schwindelgefühle im Freiballon von einem Manne, der sich selbst als Neurastheniker und leicht zu Schwindel neigend charakterisiert. Nachdem er die allgemeine Auffassung, „daß im Korb nie über Schwindel geklagt wird“, erörtert hat, sagt er: „Schon kurz nach dem Aufstiege war es mir unmöglich mit Ruhe über den Korbrand hinabzusehen. Ein Blick, dann überkam mich ein lähmendes Gefühl, eine Schwäche in der unteren Körperhälfte, so daß ich mich wieder nach dem Innern des Korbes wenden mußte. Dieses niederträchtige Gefühl steigerte sich mit zunehmender Erhebung über der Erdoberfläche. Ja, wie ich jetzt hinabsah, war es mir, als müßte ich über den Korbrand hinauspringen.“ — Jedenfalls handelt es sich hier um eine seltene Ausnahme.

²⁾ Mit besonderem Dank möchte ich hier erwähnen, daß mir der Flug mit Hirth ebenso wie die vorher erwähnte Fahrt auf der „Schwaben“ durch den Herrn Herausgeber von „Luftfahrt und Wissenschaft“ ermöglicht worden ist.

sieht der Gast, wie vollkommen der gewandte Flieger sein Flugzeug in der Hand hat, mit welcher Sicherheit er enge Kurven beschreibt, wie er auf- und abschwibt, rasch zur Erde herabsinkt, ein bestimmtes Ziel präzise wie der auf seine Beute stoßende Raubvogel erreicht, um sich dann, ganz nahe über dem Erdboden dahingleitend, wieder stolz in die Luft zu erheben. — Viel mehr noch als in der Gondel des Lenkballons fühlt man mit dem Flugzeug die Luft durchschneidend, die frische Kraft des Luftwiderstandes, die nur erträglich wird, wenn fast der ganze Körper in warmes Zeug gehüllt, die Augen durch eine gut schließende Schutzbrille gegen den Anprall des Windes geschützt sind, den man mit 60 bis 120 Kilometer Stunden-geschwindigkeit durch die Luft saugend, sich selbst erzeugt. Es ist selbstver-ständlich für unser Empfinden ganz gleichgültig, ob wir ruhig stehend vom Winde bestimmter Geschwindigkeit angeblasen werden, oder ob wir die Luft fliegend mit der gleichen Geschwindigkeit durchschneiden. — Die Nickhaut des Vogelauges, jenes durchsichtige, von der Seite vor das Auge zu schiebende dritte Lid, erkennen wir hier in seiner Bedeutung und Notwendigkeit als Schutzorgan des Auges, das während des Fluges die Fernsicht kaum hindert und momentan zur Seite geschoben wird, wenn etwa eine Beute, ein am Boden liegendes Korn scharf aus der Nähe betrachtet werden soll. Eine Vervollkommnung unserer Schutzbrillen, die rasches Entfernen und Verschieben der Gläser gestattete und die dieselben zugleich immer wieder automatisch blank putzte, von Staub und Wasserdampf reinigte, wie das beim Zurückziehen der Nickhaut mit dieser geschieht, könnte die Leistungsfähigkeit des Fliegers in gefährlichen Momenten wesentlich erhöhen, wäre ein nicht unwesentlicher Sicherheitsfaktor.

Die ruhige Sicherheit, mit welcher man unter der Obhut eines seine Maschine absolut meisternden Fliegers die Luft durchschneidet, läßt uns doch nicht verkennen, wie sehr diese Sicherheit auf der unentwegten Wachsamkeit und dem schnellen und sichern Handeln des Fliegers beruht. Von dem durch die Sonne durchwärmten Boden erheben sich ganz lokale aufsteigende Luftströmungen und Wirbel, eine dunkle unbewachsene Bodenfläche wird viel stärker erwärmt als eine grüne, und über ihr wirbelt darum die Luft empor; in der Nähe von Bäumen und Häusern erfährt der Wind eine starke Ablenkung nach oben. So verstehen wir einerseits das Streben nach technischen Vervollkommnungen, welche durch die Form der Flügel und Steuerflächen, durch zweckmäßige Disposition der Belastung die Stabilität des Flugzeuges zu erhöhen streben, andererseits die Notwendigkeit, daß der Flieger so rasch als möglich jede Gleichgewichts-störung wahrnimmt und blitzschnell, möglichst ohne daß irgend ein Überlegen notwendig ist, das Richtige zu ihrer Ausgleichung tut.

Als ich im Flugzeug die Luftströmungen wahrnahm, welche durch die Unregelmäßigkeit der Erwärmung zustande kommen, trat mir eine Beobachtung lebhaft vor Augen, welche ich vor einigen Jahren machen konnte, als ich von der Königin-Margheritahütte auf der Gnifettispitze des Monte Rosa 4560 m über dem Meere nach Italien hinabschaute. Ich sah da plötzlich im Sesiatale 3000 m unter uns und in der Luftlinie etwa 5 km entfernt eine Staubwolke aufwirbeln. Es dauerte nur wenige Minuten, bis ein Teil dieser Staubwolke bis zu uns hinaufgewirbelt war. Demgemäß muß man die Geschwindigkeit dieses aufsteigenden Luftwirbels auf

etwa 30 Sekundenmeter schätzen, das heißt auf einen Wert, der wenigstens der Eigengeschwindigkeit des schnell fahrenden Aëroplans gleichkommt. Ich mußte an diese Beobachtung denken, als ich von dem traurigen Ende des kühnen Chavez nach Überfliegung des Simplon las; sein Todessturz erfolgte kaum 30 km nordwestlich von jener Stelle, wo ich jenen gewaltigen Luftwirbel beobachtete und in einem dem oberen Sesiatale ähnlich konfigurierten engen aus dem Hochgebirge steil herabziehenden Flußtale. Wir werden dies traurige Ereignis später noch von einem anderen Gesichtspunkte aus erörtern. Es liegt nämlich nahe, daran zu denken, daß die gefährlichen Luftstöße wohl in einem Moment den Luftschiffer trafen, in welchem seine Fähigkeit, sie zu parieren, durch die klimatischen Einwirkungen stark herabgesetzt war.

III. Die Sinnesorgane in ihrer Beziehung zur Luftfahrt.

Unsere Sinne lenken unser Verhalten in doppelter Weise, einmal, indem sie bewußte Vorstellungen vermitteln, die dann unser Handeln bestimmen, und andererseits, indem auf die Sinnesindrücke unbewußt Reaktionen unseres Bewegungsapparates erfolgen, die wir als Sinnesreflexe bezeichnen. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es Übergänge, wo zwar Bewußtseinsvorgänge durch den Sinnesindruck ausgelöst werden, die Reaktion aber schon erfolgt, ehe der psychische Vorgang beendet, ehe der Eindruck bewußt verarbeitet ist. — Diese unbewußten und halbbewußten Reaktionen auf Sinnesindrücke regeln unsere normalen Bewegungen auf der Erde, das Gehen, Laufen, Springen, Reiten, Radeln, die komplizierten Verschiebungen unseres Körperschwerpunktes bei den mannigfachen Hantierungen des praktischen Lebens, bei den Kunststücken des Turners und des Akrobaten. Vier verschiedene Sinnesorgane sind es, welche hierbei zusammenwirken, der Hautsinn, der Muskelsinn, die mit dem achten Hirnnerven zusammenhängenden Apparate in unserem Ohrlabyrinth und der Gesichtssinn. — Für alle diese Apparate verschieben sich die normalen Reize und vor allen Dingen der Erfolg der gewohnten Reaktion auf diese Reize, wenn wir in der Luft schweben, statt den festen Erdboden mit unseren Füßen zu berühren.

Von höchster praktischer Bedeutung werden diese Dinge für den Flieger, der in jedem Momente des Fluges auf die feinsten Verschiebungen der Lage seines Flugzeuges reagieren muß, zum Teil so schnell reagieren muß, daß jede bewußte Überlegung ausgeschlossen ist. Hier kann es für ihn verderblich werden, wenn die angeborenen oder in frühester Jugend erlernten, durch die ständige Übung maschinenmäßig gewordenen Reaktionen der Muskulatur, welche den mechanischen Bedingungen auf festem Boden angepaßt sind, störend mit den Aktionen interferieren, welche zur Steuerung und Äquilibration des Flugzeuges nötig sind. Darum kann die Physiologie durch exaktes Studium der auf Gleichgewichtsstörungen erfolgenden unbewußten Bewegungen wichtige Anhaltspunkte für die Konstruktion der Aëroplane resp. ihrer Steuereinrichtungen liefern. Wir wollen nun dazu übergehen, aus der Physiologie der beteiligten Sinnesorgane das für den Flieger wichtigste zu besprechen.

A. Der Haut- und Muskelsinn.

Unser Urteil über das Gewicht sowie über die Bewegungsenergie der mit unserem Körper in Berührung kommenden Objekte wird durch das Zusammenwirken des Haut- und des Muskelsinnes bestimmt. Organ des ersteren sind Nervenendigungen, welche in den tiefsten Schichten der Oberhaut und in den obersten Partien der Lederhaut, speziell in den auf dieser sich erhebenden mikroskopischen fingerförmigen Fortsätzen, den Hautpapillen sich finden. — Zur einfachsten Prüfung seiner Leistung dienen Belastungsversuche, wie sie Ernst Heinrich Weber zuerst systematisch angestellt hat. Wenn man den Handrücken bequem auf eine feste Unterlage stützt und dann auf die Haut der Hohlhand oder eines Fingers Gewichte auflegt, so kann man leicht eine untere Grenze finden, bei der die Belastung als solche wahrgenommen wird, die „Reizschwelle“ des Drucksinns an der betreffenden Hautstelle und unter dem obwaltenden Zustande des Nervensystems der Versuchsperson. Indem man das erste Gewicht durch andere schwerere ersetzt, findet man, wie groß der Zuwachs der Belastung sein muß, damit man mit Sicherheit das zweite Gewicht als schwerer erkennen kann.

Es ergibt sich bei diesen Versuchen die fundamentale Tatsache, daß nicht ein bestimmtes Mehr an absolutem Gewicht einen erkennbaren Unterschied herbeiführt, daß vielmehr hierzu bei wachsender Belastung stets größere Zuwachsgewichte erforderlich sind. Das zur sicheren Erkennung des Unterschieds nötige Zusatzgewicht, die „Unterschiedsschwelle“, muß bei jeder Belastung denselben Bruchteil derselben darstellen. Anders ausgedrückt, die Empfindlichkeit für Unterschiede der Reizgröße nimmt ab proportional der absoluten Größe des Reizes. Dieses zuerst für Druckreize gefundene „Webersche Gesetz“ hat sich für alle Sinnesreize als gültig erwiesen. Bei der Temperaturempfindung muß der Unterschied um so größer sein, damit er wahrnehmbar werde, je weiter die wirkende Temperatur von der Wärme der Haut, welche hier den Nullpunkt bedeutet, abweicht. Das gleiche Gesetz macht sich bei der Vergleichung von Schallstärken, von Gesichtseindrücken geltend.

Wie eingangs erwähnt, dient uns neben dem Hautsinn der Muskelsinn zur Prüfung der Schwere von Objekten. Er spielt die wesentliche Rolle, wenn wir einen Gegenstand mit der Hand „abwägen“; wenn wir das zu prüfende Gewicht in die Hand nehmen oder es mit einem Faden an dieselbe anhängen und es durch abwechselnde Zusammenziehung und Erschlaffung der Armmuskeln heben und senken. Bei diesem Verfahren können wir Gewichtsunterschiede viel feiner erkennen als mit Hilfe des Drucksinns der Haut. Der Sitz dieser Empfindungen sind Nervenendigungen in den Sehnen, speziell in dem an die Muskelfasern angrenzenden Teile derselben, ferner solche zwischen den Muskelfasern selbst und in den einander berührenden Gelenkenden der Knochen. Aus den Eindrücken, welche diese verschiedenen Empfindungsnerven dem Hirne zuleiten, setzt sich die Vorstellung von der Größe des Zuges, welcher die Muskeln und Sehnen dehnt und auf die Gelenkenden drückt oder an ihnen zerrt, zusammen. Es kommt aber noch ein zweiter zerebraler Faktor hinzu, das ist die Kenntnis von der Stärke der Bewegungsimpulse, die wir unseren Muskeln zuschicken müssen, damit sie durch ihre Zusammenziehung die Last eben heben, ihr das Gleichgewicht halten oder sie langsam sinken lassen.

Bedeutungsvoll für die Beurteilung des Drucks und der Schwere ist der Umstand, daß gleichzeitige Erregung anderer Hautsinne die Druckempfindung ändert und dadurch das Urteil fälschen kann. Beispielsweise wird ein Gewicht schwerer geschätzt, wenn es kalt ist. Ähnliche Erscheinungen beobachtet man bei anderen Sinnen; man schätzt die Süße einer Zuckerlösung stärker, wenn eine geringe für sich nicht schmeckbare Menge Salz zugefügt wird; aber auch die entgegengesetzte Beeinflussung, die Minderung eines Sinnesindrucks durch einen zweiten gleichzeitigen wird vielfach beobachtet.

Die eben charakterisierten Sinnesempfindungen der Haut und der Muskeln spielen nun ständig eine große Rolle für die Erhaltung des Gleichgewichts beim Stehen, Gehen und allen Bewegungen des Menschen. Unser Stehen ist ein labiles, die einzelnen Gelenke unserer unteren Extremitäten würden durch ganz geringe Verlagerungen der auf ihnen ruhenden Last zusammenknicken; der ganze Körper würde, wenn keine Gegenwirkungen der Muskulatur stattfänden, durch geringe Verschiebung der Lage seines Schwerpunktes, wie sie etwa beim Bewegen eines Armes erfolgt, zum Umfallen gebracht werden. Man kann leicht nachweisen, daß ein ruhig stehender Mensch niemals wirklich unbeweglich steht, daß vielmehr ständig eine leichte Neigung des Körpers bald nach der einen und bald nach der anderen Seite, nach vorn und nach hinten, stattfindet. Der stehende Körper bewegt sich ähnlich wie etwa ein langer Stab, den wir auf einem Finger senkrecht balancieren. Hier gleichen wir den Beginn des Falles dadurch aus, daß wir unsere Hand in derselben Richtung bewegen, nach der sich die Spitze des Stabes senkt und dadurch bewirken, daß die Schwere nunmehr auf das obere Ende in einer Richtung wirkt, welche derjenigen, nach welcher der Stab zu fallen drohte, entgegengesetzt ist. Je früher die korrigierende Handbewegung einsetzt und je weniger sie über die Lage hinausgreift, in welcher der Stab senkrecht steht, desto geringer ist die für die Äquilibration nötige Handbewegung. Die Größe der Muskelarbeit hängt also von der Feinheit ab, mit welcher das Auge den Beginn der Senkung der Spitze nach einer Seite erfaßt und von der Schnelligkeit und Sicherheit, mit der die Muskeln der Hand die korrespondierenden Bewegungen ausführen. Ganz so wie mit der Arbeit unseres Armes bei der Äquilibration des Stabes, verhält es sich mit der Arbeit, welche unsere Rumpf- und Beinmuskeln ständig auszuführen haben, um den Körper in aufrechter Stellung zu erhalten. Die Art, wie beim stehenden Menschen die Schwerpunktsverschiebungen erfolgen, läßt sich nach einer von Generalarzt Leitensdorfer angegebenen Methode graphisch darstellen. — Man setzt einem ruhig stehenden Soldaten einen Helm auf und befestigt an dessen Spitze einen Stift, welcher auf ein darüber horizontal schwebendes berußtes Papier seine Bewegung aufzeichnet. Die sich aus den Aufzeichnungen ergebenden Schwankungen des Schädels der Versuchsperson sind um so erheblicher, je weniger geübt sie im Ruhigstehen ist. Sie nehmen ferner erheblich zu bei geschlossenen Augen, ein Beweis, daß das Sehen bei der Regulation des Stehens beteiligt ist. Die Schwankungen wachsen ferner, wenn die Haut der Fußsohle stark abgekühlt wird, wodurch die Feinheit ihres Tastsinnes leidet. Helles Licht auf die in Frage stehenden Mechanismen werfen die Beobachtungen, welche man bei der populär als Rückenmarksdarre bezeichneten Krankheit, der *Tabes dorsalis*, macht. Bei dieser Krankheit ergibt die

anatomische Untersuchung eine mehr oder weniger hochgradige Entartung gewisser Nervenbahnen des Rückenmarks, speziell der als Hinterstränge bezeichneten Faserzüge, welche die in das Mark eintretenden Empfindungsnerven mit jenen höher gelegenen Zentren verbinden, von welchen die Impulse zu den koordinierten Bewegungen des Körpers ausgehen. — Der hierdurch bedingte Ausfall an Empfindungen in bezug auf die Lage der Glieder, den Spannungsgrad der Muskeln, spricht sich in höchst charakteristischen Bewegungsstörungen aus. Die Kraft der Bewegungen ist durchaus erhalten, aber man vermißt deren genaue zweckmäßige Regelung. Wenn wir den im Bette liegenden Patienten bei geschlossenen Augen auffordern, ein Bein ein wenig zu heben, passiert es zuweilen, daß die Hebung nicht ausgeführt wird, weil der den Muskeln zugesandte Willensimpuls zu schwach ausgefallen ist, dann wieder wird das Bein mit gewaltigem Ruck emporgeschleudert, weit über die gewollte Hebung hinaus. Ähnliche Störungen beobachten wir beim Gehen. Zu jedem Schritt wird das Bein krampfhaft vorgeschleudert; statt gerade nach vorn wird es in einem auswärts gerichteten Bogen vorwärts bewegt und dergl. (ataktischer Gang). Besonders charakteristisch ist, daß die Gehstörungen im Dunkeln oder bei verschlossenen Augen erheblich zunehmen, bei einigermaßen vorgeschrittenem Leiden ist das Gehen im Dunkeln unmöglich, der Patient fällt beim ersten oder zweiten Schritt zu Boden. Das gleiche beobachten wir beim freien Stehen. Jene leichten, ständig durch entsprechendes Muskelspiel korrigierten Schwankungen des stehenden Körpers, welche uns die Helmspitzenkurven erkennen lassen, sind beim Tabiker so gesteigert, daß das Hin- und Herwackeln des Körpers ohne weiteres in die Augen fällt. Bei verschlossenen Augen steigert sich die Unsicherheit des Stehens viel mehr als dies beim Gesunden der Fall ist; meist ist ohne Kontrolle durch den Gesichtssinn das Stehen unmöglich, der Patient muß gehalten werden, damit er nicht zu Boden falle, sobald er die Augen schließt.

Einen weiteren Einblick in den das Stehen und Gehen vermittelnden Komplex von Empfindungen vermittelt ein zuerst von den Neurologen Westphal und Erb studiertes Phänomen. Man lege ein Bein so über das andere, daß der Oberschenkel dicht über dem Knie gestützt ist, der Unterschenkel mit dem Fuße, also in starker Beugung, schlaff herabhängt. Wenn man jetzt einen kurzen, mäßig starken Schlag mit der Innenkante einer Hand oder mit einem gepolsterten Hämmerchen (Perkussionshammer) auf die Strecksehne des Unterschenkels, dicht unter der Kniescheibe ausübt, wird der Unterschenkel durch eine kräftige Zuckung des Streckmuskels emporgeschleudert. Je nach der Erregbarkeit des Nervensystems ist das „Kniephänomen“ mehr oder weniger stark, beim Tabiker fehlt es vollständig. Durch das genauere Studium des Phänomens ist sichergestellt, daß es sich nicht etwa um eine direkte Reizung der Muskelfasern durch die von der Sehne her geübte Zerrung handelt, daß vielmehr die mechanische Erregung der Nervenendigungen in der Sehne nach dem Rückenmark fortgeleitet wird und hier durch Vermittlung bestimmter Ganglienzellen auf die motorischen Fasern übergeführt wird, welche dem Muskel den Impuls zur Kontraktion übermitteln. Es handelt sich also um einen richtigen Reflexvorgang, wie er etwa uns entgegentritt in dem Zurückziehen des Fußes, wenn wir die Sohle kitzeln, in dem Verschluß der Augenlider, wenn ein Gegenstand dem Auge genähert wird oder die Zilien am Lidrande berührt. — Wir

bezeichnen deshalb das Kniephänomen auch als „Sehnenreflex“ im Gegensatz zu „Hautreflex“, „Lichtreflex“ in den eben geschilderten Beispielen. Ähnliche Sehnenreflexe wie am Knie bestehen am Fußgelenk, Ellenbogengelenk usw. Wie der Schlag, so bewirkt auch jeder Zug an der Sehne in der Längsrichtung den Reflex. Wir müssen daher in ihm einen Teil des Mechanismus suchen, welcher bei jeder die Sehne anspannenden Gleichgewichtsstörung des Körpers durch sofortige reflektorische Spannung des Muskels den Fall hemmt und die normale senkrechte Stellung des Körpers wieder herstellt.

B. Der Gesichtssinn.

Während die Sehnenreflexe ebenso wie die von der Hautoberfläche ausgelöst auf beschränkte Muskelgruppen wirken, beeinflußt das Auge die gesamte Muskulatur des Körpers im Sinne der Erhaltung des Gleichgewichts einerseits, der Bewegung auf ein bestimmtes Ziel hin andererseits. Die vom Auge regulierten Bewegungen sind ganz besonders geeignet, uns die Schwierigkeiten klar zu machen, welche dem Flieger daraus erwachsen, daß seine Sinne nicht an die Bewegung in der Luft und an die hierfür nötigen Manipulationen an seinem Flugzeug angepaßt sind, vielmehr an das Gehen und andere Bewegungen, bei denen wir uns auf den festen Boden stützen. Entsprechend der Einwirkung auf das Zusammenwirken der gesamten Muskulatur des Körpers spielen sich die vom Sehorgan ausgelösten Reflexe viel mehr als die bisher betrachteten im Bereiche des Bewußtseins ab oder werden wenigstens bewußt kontrolliert event. gehemmt. Es spielen hier auch erlernte, durch Übung allmählich immer sicherer und maschinenmäßiger gewordene Antworten der Muskulatur auf bestimmte optische Eindrücke eine große Rolle. Unbewußt ordnen sich, wenn der Blick auf ein Ziel gerichtet ist, alle Bewegungen derart, daß wir uns geradlinig auf das Ziel hinbewegen.

Jeder weiß, in welchem Maße durch plötzliche, schreckartige Empfindungen auslösende, Gesichtseindrücke unsere Körperstellung beeinflußt wird, wie wir beim Anblick eines Hindernisses automatisch den Körper zurückwerfen, um den Anprall unseres Körpers dagegen zu vermeiden. Derartige Schreckbewegungen des die Lenkstange führenden Fliegers können leicht zu gefährlichen Gleichgewichtsstörungen führen. Ähnlich kann die Reizung des Auges durch Staub und kleine Fremdkörper zu sehr bedenklichen Gleichgewichtsstörungen führen, darum ist der sichere Schutz des Auges, wie S. 8 schon erwähnt, von besonderer Bedeutung. — Durch die im Folgenden zu besprechenden Reflexe vom Ohrlabyrinth auf die Augenmuskeln kann die Orientierung in entscheidenden Momenten stark beeinträchtigt werden. Menschen, bei welchen die mit Schwindelgefühlen einhergehenden vom Ohrlabyrinth ausgelösten zuckenden Bewegungen der Augäpfel leicht auftreten, sind als Flieger besonderen Gefahren ausgesetzt.

C. Die mit dem Hörorgan assoziierten Lageempfindungen.

Der statische Sinn.

Die Endigungen des achten Hirnnerven, welcher das Hören vermittelt, stehen im Inneren des Schläfenbeins des Menschen mit zwei verschiedenen Apparaten in Verbindung, der Schnecke und dem System des sogenannten Vorhofs (vestibulum).

Man unterscheidet daher 2 Endäste des 8. Hirnnerven, den Nervus cochlearis und den n. vestibularis.

Während man früher glaubte, beide Nerven seien Vermittler von Gehörempfindungen, haben die grundlegenden Untersuchungen von Goltz und im Anschluß an sie die Arbeiten von Mach, Breuer, Cyon, Kreidl, Ewald und vielen anderen Forschern dem Vorhof eine besondere Funktion zugewiesen. Er dient der Wahrnehmung von Lageänderungen und Bewegungen des Kopfes und vermittelt Bewegungen und Muskelspannungen, welche durch diese Lageänderungen erforderlich werden. Die durch diesen Apparat ausgelösten Vorgänge sind also ähnlicher Art, wie diejenigen, welche durch die Tastempfindung, das Muskelgefühl und das Sehen vermittelt werden, unterscheiden sich aber von diesen dadurch, daß sie unbewußt ablaufen. — Am besten werden wohl die Leistungen des Vestibularapparates durch die Bezeichnung desselben als Organ des statischen Sinnes ausgedrückt. Seine vollständige Ausschaltung hebt gewisse Bewegungen, welche zur Kompensation von Lageveränderungen ausgeführt werden, auf, sie macht sich aber auch in einer verminderten Spannung, einem verringerten „Tonus“ der Muskulatur geltend. Labyrinthlose Tiere leisten deshalb jeder Verschiebung ihrer Gliedmaßen weniger Widerstand. An dem Einfluß des Labyrinths auf die Tätigkeit der Muskeln ist aber auch der Teil desselben, der die Schallwellen wahrnimmt, beteiligt, also der eigentliche Gehörapparat. Es sei nur an die halb unwillkürliche Auslösung von Bewegungen durch rythmische Musik erinnert. Marschmusik, Tanzmusik veranlaßt auch den ruhig sitzenden Menschen zu Bewegungen der Beine, der Finger, des Kopfes. — Der ermüdete Soldat wird durch die Marschmusik zu stärkerer Leistung befähigt. Ob es sich hierbei, wie Ewald annimmt, um eine Miterregung der Nervenendigungen des „Tonuslabyrinths“ durch die Schallwellen handelt oder ob auch die eigentlichen Gehörswahrnehmungen im Gehirn reflektorisch auf die Zentren der Muskelnervation wirken, ist mit unseren heutigen Mitteln nicht zu entscheiden. Es sei aber daran erinnert, daß die Entwicklung des Gehörapparates in der Tierreihe unverkennbar auf seinen nahen Zusammenhang mit dem Organ des statischen Sinnes hinweist. Letzteres ist in ähnlicher Weise wie bei den höheren Wirbeltieren schon bei vielen niederen Organismen entwickelt, bei Organismen, die keine Spur von Gehör, d. h. keinerlei Beeinflussung durch Schallwellen erkennen lassen. Ein auf die Stellung des Körpers fein reagierendes, jede Lageänderung scharf anzeigendes Organ ist natürlich für die im Wasser und in der Luft sich bewegenden Lebewesen viel bedeutungsvoller als für diejenigen, welche sich auf den festen Erdboden stützen. Bei letzteren gibt ja stets die Tastempfindung der Haut weitgehenden Aufschluß darüber, welche Körperteile den Boden berühren und die Muskelgefühle lassen jede Schwerpunktsverschiebung schnell erkennen und veranlassen die zu ihrer Korrektur nötige Muskeltätigkeit. Am evidentesten bedarf der im Wasser äquilibrierte Organismus eines besonderen Organs, das ihn über die Orientierung seines Körpers zur Richtung der Schwere, die ja auf denselben nicht mehr wirkt, unterrichtet. Beim Schwimmen kann man denn auch die Notwendigkeit des statischen Organs für die Erkennung der Körperstellung besonders deutlich nachweisen, und selbst der Mensch ist in der Hinsicht hilflos, wenn ihm die Vestibularorgane fehlen.

In seiner einfachsten Form besteht das statische Organ aus haarförmigen Nervenendigungen, welchen ein schweres Gebilde, ein Steinchen, (Statolith) aufgelagert ist. Da der Statolith stets in der Richtung der Schwerkraft auf die Nervenendigungen drückt, muß die Druckwirkung eine andere werden, sobald das Tier seine Lage gegenüber dem Lot verändert. Diese geänderte mechanische Wirkung auf die Nervenendigungen löst dann Bewegungen aus, welche auf die richtige Einstellung des Tieres hinielen. — Besonders durchsichtig sind diese Reaktionen bei den frei im Meere schwimmenden Quallen. Engelmann und genauer noch Verworn¹⁾ wiesen nach, daß der früher mit dem Hören in Beziehung gebrachte und deshalb als Otolith bezeichnete, am aboralen Pole dieser Tiere gelegene Kalkkörper die Erhaltung des Gleichgewichts dadurch vermittelt, daß er die Bewegung der Flimmerhaare auf den sogenannten Schwimmlättchen, den flimmernden Rippen, dieser Tiere derart modifiziert, daß sie dem Körper die normale Lage mit der

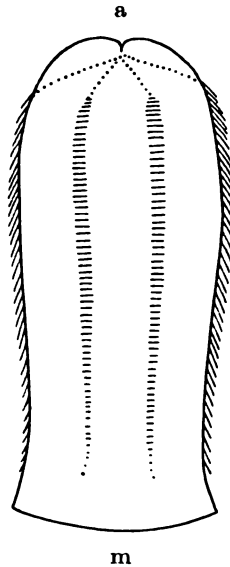


Fig. 1. *Beroë ovata*; Schema der Beziehung zwischen Statolithenapparat und flimmernden Rippen. m Mundpol; a aboraler Pol mit Statolithenapparat.

Fig. 2. Die Qualle, *Beroë ovata*, natürliche Größe.

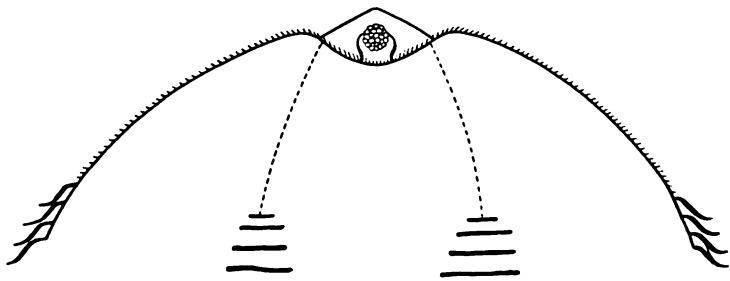


Fig. 3. Statolithenapparat der *Beroë ovata* und seine Beziehung zu den flimmernden Rippen.

Mundöffnung nach unten erteilen. Fig. 1 zeigt schematisch das Bild einer solchen Qualle, der *Beroë ovata*, Fig. 2 gibt den Anblick des Tieres am konservierten Präparat, Fig. 3 zeigt den Sinnespol mit dem von 4 Spitzen frei schwebend ge-

¹⁾ Max Verworn, Gleichgewicht und Otolithenorgan. Pflügers Arch. 50, 1891, S. 423 bis 472. Dieser Abhandlung sind auch die Figuren entnommen.

tragenen Statolithen bei starker Vergrößerung. Von jeder dieser Spitzen geht eine Leitungsbahn aus, welche die Bewegung von zwei der acht mit flimmernden Zilien besetzten Rippen, die den Körper des Tieres umspannen, reguliert. — Wird das Tier aus der Gleichgewichtslage gebracht, so drückt der Statolith stärker auf eine der vier ihn tragenden Spitzen, und das hat zur Folge, daß die zugehörigen Flimmerhaare sich lebhafter bewegen und alsbald das Tier wieder in die Gleichgewichtslage bringen. Schon ehe diese erreicht ist, beginnen auch die anderen Zilienreihen stärker zu arbeiten, offenbar weil jetzt auch die zu ihnen gehörigen Borsten einen entsprechenden Teil des Drucks des Statolithen aufnehmen.

Nach Entfernung des Statolithen, die bei manchen Arten durch Absaugen mit einem feinen Glasröhrchen bewirkt werden kann, resp. Zerstörung der den Druck aufnehmenden empfindlichen Spitzen mit Hilfe eines glühenden Drahtes hat die Qualle das Einstellungsvermögen verloren; die einzelnen Zilienreihen schlagen oft in verschiedenem Tempo, das Tier nimmt, aus der Gleichgewichtslage gebracht, diese entweder überhaupt nicht wieder an, oder nur ganz träge unter dem Einfluß der Schwere. Die ältere Annahme, daß der geschilderte Apparat mit dem Hören

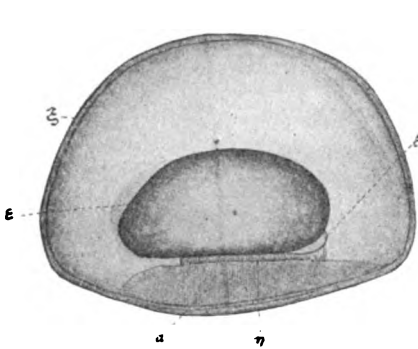


Fig. 4. Statolith auf büstenartigen Zellausläufern.

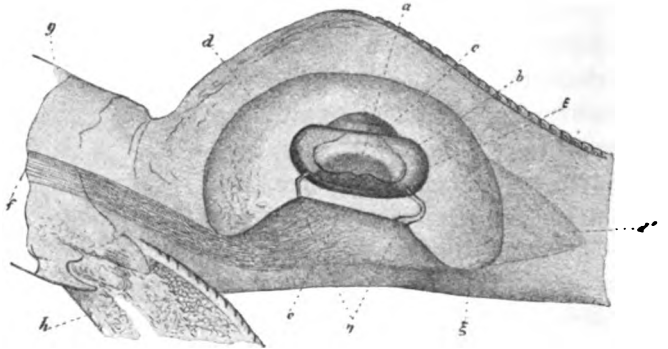


Fig. 5. Statolith auf federnden Trägern.

in Beziehung stehe, war dadurch entstanden, daß ähnliche mit Nervenendigungen in Berührung stehende Steinchen sich im Gehörorgane des Menschen und der Wirbeltiere finden. Dort brachte man sie begreiflicherweise, aber wie wir noch erörtern werden, zu Unrecht mit dem Hören in Beziehung; sie dienen auch der Erhaltung des Körpergleichgewichts, der „geotropischen“ Einstellung des Körpers. — Zur Illustrierung der subtilen Anordnungen durch welche die Bewegungen der Statolithen auf die Empfindungsnerven übertragen werden, mögen noch die Abbildungen Fig. 4 und 5 dienen. Die erstere zeigt, wie der Statolith auf die büstenartig angeordneten haarförmigen Ausläufer der Nervenendzellen wirkt, in anderen Fällen (Fig. 5) ruht der Statolith auf elastischen Füßchen, die durch jede Verschiebung, die er unter der Einwirkung der Schwere erleidet, verbogen werden. Für viele niedere Organismen, welche ein Statolithenorgan besitzen, ist mit Sicherheit nachgewiesen, daß sie überhaupt nicht auf akustische Reize, auf Schallwellen irgendwelcher Art reagieren. Für die Quallen hat Verworn diesen Beweis ge-

liefert. Andere Forscher¹⁾ zeigten dasselbe und zugleich die Bedeutung dieser Organe für die Erhaltung des Gleichgewichts an im Wasser lebenden Mollusken und Arthropoden, Jacques Loeb an Haifischen. Daß die Fische, welche alle einen sehr ausgebildeten Statocystenapparat haben, durchaus nicht hören, wurde entgegen verbreiteten älteren Anschauungen in jüngster Zeit von Kreidl²⁾ durch sorgfältige Versuche festgestellt (vgl. übrigens S. 24). Auch der Umstand, daß Fische ebenso wie fast alle im Wasser lebenden Wirbellosen keinerlei Geräusche hervorbringen, macht es in hohem Maße unwahrscheinlich, daß sie hören. Die meisten Angaben über Hören dieser Tiere beruhen auf ungenauen Beobachtungen, indem entweder Gesichtseindrücke nicht sicher ausgeschaltet waren, oder mechanische Erschütterungen, etwa durch das Gehen von Menschen am Ufer, auf die Tiere wirkten. Die Tiere haben vielfach äußerst feine Berührungsempfindlichkeit und reagieren daher auf leichte Wellenbewegungen des Wassers. Bei den Fischen sind es besonders die Nervenendigungen der sogen. Seitenlinie, welche diese Reaktionen auf Erschütterung vermitteln. Daß die Grenzen zwischen diesen Empfindungen und dem eigentlichen Hören nicht scharf zu ziehen sind, liegt auf der Hand. Darum wird man auch die Entstehung des Gehörorgans in der Tierreihe phylogenetisch aus allmählicher Vervollkommnung der einfachen Empfindungsnerven und der statischen Organe ableiten können.

Kreidl verdanken wir auch sehr originelle und beweisende Versuche über die Einwirkung der Statolithen auf die Richtungsbewegung der Krebse. In ähnlich präziser Weise wie bei den Quallen kann man auch die Bedeutung des früher als Gehörorgane angesprochenen Statolithenapparates bei verschiedenen Krebsarten demonstrieren. Es sind besonders diejenigen Krebse, welche frei im Wasser umherschwimmen, bei denen die Bedeutung dieses Apparates ersichtlich ist. Er liegt hier an sehr verschiedenen Stellen des Körpers, bald in einem oder dem anderen Fußpaar, bald in den vom Kopf ausgehenden Antennen, von denen ein andres Paar die Augen trägt. Auch insofern kommen hier bei verschiedenen Arten weitgehende Unterschiede vor, als die Statolithen bald vollkommen eingeschlossen in der Tiefe des Gewebes liegen, bald sehr oberflächlich in einer Einsenkung des Chitintmantels der Tiere. Im letzteren Falle werden sie bei jeder Häutung abgeworfen und neu ersetzt dadurch, daß die Tiere durch einen Willkürakt feinen Sand in die betreffenden Öffnungen hineinstopfen. Während der Zeit des Fehlens der Statolithen sind die Tiere sehr wenig zu Bewegungen geneigt, und dasselbe beobachten wir, wenn man ihnen zu irgend einer Zeit die Statolithen raubt, oder wo dies nicht möglich ist, das betreffende Glied abschneidet. Insbesondere findet man, daß die Tiere ohne Statolithen auch in abnormen Lagen schwimmen, und daß außerdem dabei ihre Bewegungen weniger kraftvoll sind als bei Vorhandensein dieser Organe. Die Bedeutung der Statolithen für die Kraft der Muskelbewegungen werden wir nachher

¹⁾ Yves Delage, Sur une fonction nouvelle des Otocystes comme organes d'orientation locomotrice. Arch. de Zoologie expér. et génér. II. Sér. t. 5, 1887. — Th. Beer, Über den angeblichen Gehörsinn und das angebliche Gehörorgan der Crustaceen. Pflügers Arch. 73, 1898, S. 1.

²⁾ Kreidl, Über die Schallperception der Fische. Pflügers Arch. 61, 1895.

noch genauer erörtern. Hier möchte ich zunächst einen entscheidenden Beweis für den Einfluß dieser Organe auf die Körperbewegungen anführen, welcher Kreidl an solchen Krebsen gelungen ist, die sich die Statolithen nach jeder Häutung erneuern. Er setzte solche Krebse in Wasser, auf dessen Boden als einzige für die Krebse erreichbare sandartige Masse feiner Eisenfeilstaub sich befand. Sie verwandten dann diesen feinen Eisenstaub zum Ersatz der bei der Häutung verlorenen Statolithen. Hierauf erwiesen sich die Tiere in sehr merkwürdiger Weise in ihren Bewegungen beeinflussbar durch starke Magnete, die man in ihre Nähe brachte. Es erfolgten bei Annäherung des Magneten stets Bewegungen derart, als ob das Tier von dem Magneten angezogen würde. Von einer wirklichen Anziehung kann natürlich nicht die Rede sein, da die Eisenteilchen kaum ein Gewicht von wenigen Milligramm hatten, es also undenkbar ist, daß durch ihre Vermittlung das ganze schwere Tier in der Richtung des Magneten gezogen würde. Die Sache ist nur so verständlich, daß das Tier durch die vom Magneten bewirkte Bewegung der kleinen Statolithen in einer bestimmten Richtung veranlaßt wird, seine Muskeln derart zu innervieren, daß es in der gleichen Richtung sich bewegt. Damit kommen wir zu einer Erklärung der normalen Funktionen der Statolithen. Als träge Masse müssen dieselben ein wenig zurückbleiben, wenn das Tier rasch nach einer bestimmten Richtung geschoben wird, und dieses Zurückbleiben bedeutet dann einen Druck auf die Nervenendigungen in einer zur Bewegung des Tieres entgegengesetzten Richtung. Auf eine Verschiebung nach rechts aber wird das Tier im allgemeinen durch eine Eigenbewegung nach links antworten, um sich eben in seiner Lage zu behaupten. Es hat also die Anziehung der magnetischen Statolithen nach einer Seite denselben Effekt auf die Nervenendigungen wie eine rasche Verschiebung des ganzen Tierkörpers in der entgegengesetzten Richtung. Im Prinzip ist also die Regulation der Bewegung des Krebses durch die Statolithen ganz analog derjenigen, welche wir vorher bei den Quallen kennen gelernt haben.

Während die im Wasser lebenden Crustaceen ebenso wie die Fische und alle Vögel einen den beschriebenen Einrichtungen analogen Statolithenapparat haben, fehlt derselbe bei schwimmenden sowohl wie bei den meisten fliegenden Insekten. Dies dürfte damit zusammenhängen, daß die ersteren ausschließlich an der Oberfläche des Wassers schwimmen, und daß sie durch den Luftvorrat, den sie in ihren Tracheen und vor allen Dingen unter den Flügeldecken ständig beherbergen, in der normalen Stellung mechanisch erhalten werden. Es bedarf bei ihnen keinerlei Tätigkeit der muskulösen Apparate, um diese Stellung zu erhalten, weil infolge der Luftvorräte der Schwerpunkt des Körpers so tief liegt, daß ein Umkippen ganz unmöglich ist. Schwerer verständlich ist das Fehlen derartiger Apparate bei den fliegenden Insekten. Für sie müssen wir uns der Tatsache erinnern, daß die Tiere ja noch eine andere, sehr wirksame Kontrolle ihrer Körperlage in den Augen besitzen, und die Augen sind bekanntlich bei den Insekten in hoher Vollkommenheit ausgebildet. Wie sehr diese Tierklasse in ihren Bewegungen durch optische Eindrücke reguliert wird, zeigt uns ja die bekannte Anlockung der Insekten, speziell der in der Dämmerung fliegenden, durch das Licht, ihr Phototropismus. Im Gegensatz hierzu ist der Statolithenapparat bei den Vögeln sehr vollkommen entwickelt, und wir sehen ihn auch in ähnlicher Vollkommenheit bei den abwechselnd auf dem Lande

und im Wasser lebenden Amphibien. Gerade bei letzteren ist wegen des Lebens in zwei Medien die Aufgabe der Erhaltung des Körpergleichgewichts eine besonders komplizierte, und darum sehen wir auch hier alle ihr dienenden Apparate in hoher Ausbildung. Wenn wir die Anordnung der Statolithen mit ihren Funktionen in dieselbe Beziehung bringen wie sie bei den Krebsen experimentell dargetan ist, kommen wir zu der Erkenntnis, daß bei den höheren Wirbeltieren und beim Menschen einerseits die Richtung von vorn nach hinten und andererseits die von oben nach unten, also im Sinne der Schwerkraft durch Statolithen kontrolliert wird. Im sogenannten Sacculus und Utriculus des Ohrlabyrinths des Menschen haben wir zwei mit Nervenendfasern versehene Zellgruppen, welche in der Wand eines mit Flüssigkeit erfüllten Hohlraums liegen und in diesen Hohlraum lange, wimperartige Fortsätze hineinsenden. Auf diesen Fortsätzen ruhen die Statolithen, und zwar der eine so, daß er bei der Vorwärtsbewegung des Tieres gegen die Haare angedrückt, bei der Rückwärtsbewegung von ihnen entfernt wird, während der andere so angeordnet ist, daß er beim Emporsteigen des Körpers gegen die Haare gedrückt, beim Niedersinken desselben abgehoben wird. Wir werden entsprechend dieser Anordnung dem Statolithenorgan des Menschen eine Reaktion auf die Verschiebungen des Körpers in der horizontalen Richtung einerseits, in der perpendikulären andererseits zuschreiben. Daß die Muskulatur auf derartige Bewegungen automatisch reagiert, indem wir etwa beim plötzlichen Abwärtssinken die Arme emporstrecken, um einen Halt zu suchen, beim plötzlichen Emporgehobenwerden entgegengesetzte Schutzbewegungen machen, kann jeder auf einem schnell sich bewegenden Fahrstuhl beobachten und zwar speziell in Momenten, wo sich derselbe in Bewegung setzt oder zum Stillstand kommt. Die gleichmäßig andauernde fallende oder steigende Bewegung wird von uns nicht empfunden und kann ja auch nach der eben entwickelten Mechanik des Statolithenapparates nicht empfunden werden. Ähnlich steht es um die Bewegung vor- und rückwärts in horizontaler Richtung. Auch hier empfinden wir den Eintritt der Bewegung und ihren Stillstand sowie rasche Beschleunigung oder Verlangsamung, nicht aber gleichmäßig andauernde schnelle Bewegung. Das kann man im Eisenbahnzug bei geschlossenen Augen leicht beobachten. Bei der Beurteilung des Bewegtwerdens und beim Zustandekommen der dadurch bedingten Muskelreflexe spielt nun aber, wie wir vorher schon erörterten, auch das Auge eine große Rolle. Davon kann man sich besonders deutlich überzeugen bei jenen auf Jahrmärkten öfters vorgeführten Einrichtungen, bei denen die Gegenstände um den ruhig sitzenden Menschen gedreht werden. Der Anblick dieser Bewegung erweckt die Vorstellung, daß wir selbst in Bewegung seien. Dabei entsteht ein Konflikt zwischen den durch den Statolithenapparat bewirkten Eindrücken, welche ja dem ruhenden Zustande unseres eigenen Körpers entsprechen, und den durch das Auge übermittelten Empfindungen, welche uns das Vorhandensein einer Bewegung kund geben. Aus diesem Konflikt der sonst unter normalen Verhältnissen harmonischen Eindrücke, resultieren jene unbehaglichen Empfindungen, jene Muskelschwäche und Unfähigkeit zu Bewegungen, welche wir als Schwindelerscheinungen kennen. Ähnliche Eindrücke kommen zustande, wenn wir uns etwa in einem Eisenbahnzuge befinden und ein danebenstehender Zug sich plötzlich zu bewegen beginnt. Auch dann erweckt der optische Eindruck die Vorstellung, als würden wir bewegt und zwar in entgegen-

gesetzter Richtung von der, in der der beobachtete Zug fährt, während der Statolithenapparat keinen konformen Eindruck vermittelt. Auch hieraus resultiert das unbehagliche Gefühl der disharmonischen Empfindungen, welches wir nicht haben, wenn der Zug, in welchem wir sitzen, wirklich in Bewegung gerät.

Es gibt aber noch eine zweite Art Schwindel, die uns viel geläufiger ist, das ist derjenige, welcher durch Rotation des Körpers eintritt. Aus dem Bau des Statolithen-

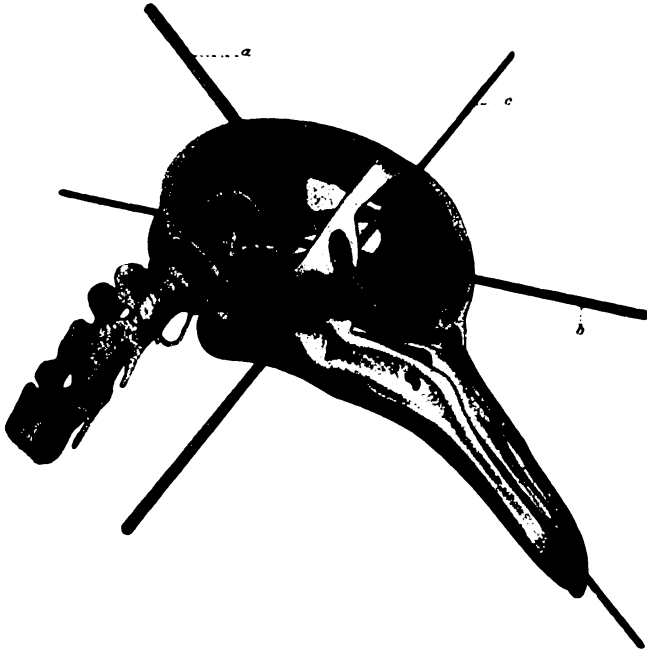


Fig. 6. Bogengänge der Taube, in ihrer Lage im Schädel freipräpariert. Die Stäbe a, b, c markieren die drei Hauptachsen des Schädels. (Aus Ewald, Physiolog. Unters.)

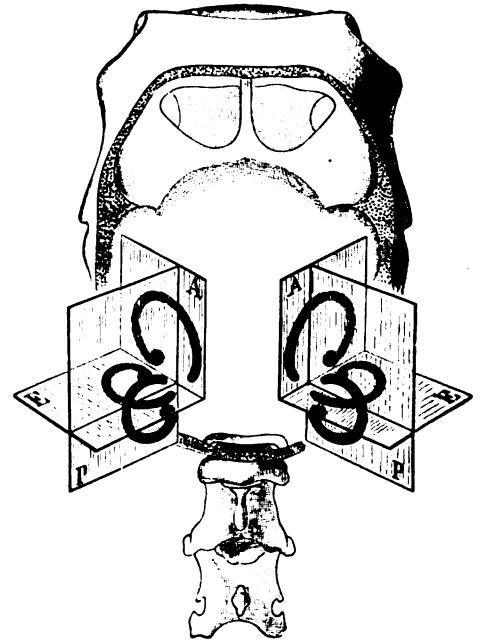


Fig. 7. Zur Veranschaulichung der Ebenen, nach welchen die halb-zirkelförmigen Kanäle orientiert sind. (Aus Ewald.)

apparates ergibt sich ohne weiteres, daß derselbe hierbei keine Rolle spielen kann. Alle Wirbeltiere besitzen aber im Innern des Schläfenbeins neben dem Statocystenapparat noch eine zweite sehr merkwürdige Einrichtung, bei deren Anblick man ohne weiteres auf die Idee kommen muß, daß dieselbe etwas mit den Rotationen des Kopfes zu tun haben müsse. Das sind die halb-zirkelförmigen Kanäle. Fig. 6 nach Ewald gibt eine vergrößerte Abbildung ihrer Lage im Schädel der Taube, bei der sie, wie bei allen Vögeln, besonders gut ausgebildet und relativ groß sind. Es handelt sich um drei etwas mehr als einen Halbkreisbogen beschreibende Kanäle, daher der Name: „halb-zirkelförmige Kanäle“. Diese Kanäle sind in drei aufeinander senkrechten Ebenen angeordnet. Die Anordnung zeigt halbschematisch Fig. 7. Der eine E, als horizontaler Kanal oder Canalis externus bezeichnet, liegt in der Querebene des Kopfes, der zweite als oberer vorderer A bezeichnet, in der Stirnebene, der dritte oder der obere hintere P in der Ebene der Pfeilnaht, d. h. in der vom Gesicht zum Hinterhaupt sich erstreckenden Richtung. Früher, als man den ganzen Statolithenapparat ebenso wie die halb-zirkelförmigen Kanäle noch als Teile des Gehörorgans ansah,

brachte man diese merkwürdige Lagerung der Kanäle mit der Fähigkeit, die Richtung, von der der Schall kommt, zu erkennen, in Beziehung. Diese Annahme erweist sich aber bei genauerer Analyse der Verhältnisse als unmöglich. Die Schallwellen werden, wie wir mit Sicherheit dartun können, vom Trommelfell aufgenommen und durch den Apparat der Gehörknöchelchen auf die Membran des sogenannten ovalen Fensters, welches die Paukenhöhle vom innern Ohr trennt, übertragen. Für diese Übertragung ist es ganz gleichgültig, aus welcher Richtung die Luftwelle stammt, welche zum Ohr gelangt. Denn diese Luftwellen können nie auf andere Weise Schallempfindungen erzeugen als dadurch, daß sie das Trommelfell in Schwingungen versetzen. Demgemäß können nur die äußeren Teile des Ohrs, die Ohrmuscheln und die Anfänge des äußeren Gehörganges mit ihren Empfindungsnerve durch die Richtung des Schalles beeinflußt werden. Sie allein sind es in der Tat, welche uns über die Richtung, aus der die Schallwellen unser Ohr treffen, einigen, und beim Menschen wenigstens, keinen sehr vollkommenen Aufschluß geben. Wesentlich gefördert wird die Orientierung durch die Beweglichkeit des Ohrtrichters, wie wir sie z. B. in exquisiter Weise beim Pferde beobachten. Hier muß natürlich bei der Bewegung des Trichters der Schall lauter gehört werden, in dem Maße, wie die Öffnung des Trichters der Richtung zugewendet ist, von welcher der Schall kommt. Von der enormen Wirkung dieser Einstellung des Trichters nach der Schallrichtung kann man sich sehr leicht durch Verwendung eines einfachen Schalltrichters aus zusammengerolltem Papier selbst überzeugen.

Da wir uns also eine Beziehung der halbzirkelförmigen Kanäle zum Hören nicht vorstellen können, werden wir uns nach einer anderen Bedeutung derselben umsehen müssen, und da liegt es nahe, sie mit irgend welchen Bewegungsempfindungen resp. mit der Orientierung in den drei Dimensionen des Raumes in Beziehung zu bringen. Ihr anatomischer Bau entspricht durchaus dieser Auffassung. Sie sind mit einer wässrigen Flüssigkeit gefüllt und haben an einem Ende eine Gruppe von mit Haaren versehenen Nervenendzellen, von denen wir wohl annehmen können, daß sie auf feine Bewegung der Flüssigkeit oder auch schon auf Druckänderungen in derselben reagieren. Denken wir uns einen Menschen oder auch nur seinen Kopf rasch von rechts nach links oder umgekehrt bewegt, so wird in dem horizontal liegenden Kanal die Flüssigkeit vermöge ihrer Trägheit ein wenig hinter dieser Bewegung zurückbleiben, woraus ein mechanischer Effekt auf die in der Flüssigkeit schwimmenden Nervenendhaare resultiert. Das würde ein Mittel zur Wahrnehmung der Drehbewegung sein. Wie der horizontale Kanal eine Bewegung um die Längsachse des stehenden Körpers wahrnehmen muß, so der vordere senkrechte eine solche um die Querachse des Kopfes, also eine Nickbewegung, und der hintere senkrechte eine solche um die Sagittalachse des Kopfes. Wir müßten demgemäß erwarten, daß die als Reaktion auf derartige Verschiebungen des Kopfes ausgeführten Bewegungen von den halbzirkelförmigen Kanälen ausgelöst werden. Diese Annahme ist einer experimentellen Prüfung zugänglich. Man hat zunächst durch verhältnismäßig rohe Versuche feststellen können, daß der Apparat der halbzirkelförmigen Kanäle Einfluß auf die Bewegungen hat. Wenn man bei einem Tier das innere Ohr freilegt und die halbzirkelförmigen Kanäle verletzt, treten alsbald sehr komplizierte und gewaltsame Bewegungen des Kopfes und

zum Teil auch des übrigen Tierkörpers ein. Diese Bewegungen halten oft längere Zeit nach der Verletzung an. Auch wenn man das Ohrlabyrinth einer Seite, etwa bei einer Taube, gänzlich zerstört, sieht man das Tier stunden- und tagelang in verdrehten Haltungen des Kopfes verharren. Es ist aber der experimentellen Geschicklichkeit von Professor Ewald in Straßburg gelungen, über diese rohen Andeutungen der Beziehungen der halbzirkelförmigen Kanäle zur Kopfhaltung und zur Bewegung des Tierkörpers wesentlich hinaus zu gelangen. Er hat beispielsweise an einem der halbzirkelförmigen Kanäle nach seiner Bloßlegung eine feine Vorrichtung angelagert, welche er als pneumatischen Hammer bezeichnet. Es handelt sich um einen feinen hohlen Stahlzylinder von etwas über 1 mm Durchmesser, welcher in einer Messingplatte befestigt ist und mit dieser derart auf den Schädel einer Taube, deren Labyrinth bloßgelegt ist, befestigt wird, daß der im Zylinder bewegliche Stahldraht, wenn er vorgestoßen wird, gerade auf einen der halbzirkelförmigen Kanäle drückt. Ein solcher Stoß muß natürlich eine starke, plötzliche Erschütterung der Innenflüssigkeit und damit Reizung der Nervenendigungen zur Folge haben. Damit man die Reaktionen ganz unbeeinflusst beobachten kann, wird die Taube, nachdem der pneumatische Hammer an einen ihrer Bogengänge befestigt ist, frei unter einen Drahtkäfig gestellt. Von dem Hammer führt ein langer, dünner Kautschukschlauch zu einer kleinen Druckkapsel, welche der Experimentator in der Hand hält, und mit deren Hilfe er den Hammer gegen den Bogengang anschlagen lassen kann. Wir beschreiben nun einen der Versuche mit Ewalds eigenen Worten: „Der pneumatische Hammer befindet sich über dem rechten Canalis externus, zwischen ihm und dem glatten Ende des Kanals ist eine Plombe eingesetzt.“ (Diese Plombe bewirkt, daß die Flüssigkeit nicht mehr nach dem nervenlosen Ende ausweichen kann, vielmehr der Druck des Hammers auf den häutigen Kanal nur eine in der Richtung nach dem Nervenende hinziehende Druckwelle erzeugt.) „Läßt man nun den Hammer anschlagen, ohne ihm eine Rückbewegung zu gestatten, so erfolgt eine starke bis 90 % betragende Drehung des Kopfes nach links genau in der Ebene des horizontalen Kanals. Zu dieser Drehung gesellt sich niemals irgend eine andere Bewegung des Kopfes hinzu, auch habe ich nicht ein einziges Mal gesehen, daß die Bewegung in umgekehrter Richtung erfolgt wäre. Gewöhnlich geht nach dieser Bewegung der Kopf unmittelbar darauf in die Normalstellung zurück. Wir ziehen dann den Hammer zurück und erhalten nun eine Kopfdrehung nach rechts, welche ebenfalls genau in der Ebene des Kanals abläuft, aber ungleich schwächer als die erste Bewegung ist. Wir drücken nach beliebiger Zeit wieder und erhalten die starke Bewegung nach links, wir lassen den Ballon nach beliebiger Pause wieder los und beobachten die schwache Drehung nach rechts, kurz immer mit größter Präzision das gleiche Resultat¹⁾.“

Die volle Bedeutung des Labyrinths für die Bewegungen und die Gleichgewichtserhaltung können wir aber doch nur würdigen, wenn wir noch einige weitere Beobachtungen anreihen.

Beim Menschen entstehen bei Entzündungen im Bereiche des Ohrlabyrinths die heftigsten Störungen der Körperhaltung, verbunden mit starkem Schwindel,

¹⁾ Richard Ewald, Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus, Wiesbaden 1892.

Erscheinungen, welche den Ohrenärzten als „Menièresche Krankheit“ geläufig sind. Dieselben Erscheinungen treten bei Tieren auf, welchen man die Ohrlabyrinth mechanisch verletzt oder gänzlich zerstört. Im letzteren Falle ist es die Wundreizung der Nervenstümpfe des die Labyrinthempfindungen zum Hirn leitenden achten Hirnnerven, welche dieselben Empfindungen erzeugt, wie sie normal bei rasch wechselnden anormalen Körperstellungen entstehen. Diese Empfindungen lösen dann gewaltsame Körperbewegungen und forcierte Stellungen des Kopfes und der Extremitäten aus, wie sie zur Wiedergewinnung der richtigen Körperhaltung dienlich wären, wenn die nur empfundenen Verlagerungen des Kopfes und des übrigen Körpers in Wirklichkeit beständen. Die anormalen Haltungen des Kopfes, welche längere Zeit nach der Operation aufhören können, treten wesentlich stärker auf, wenn die Augen verschlossen sind, so daß ihre Kontrolle über die Haltung verloren geht. Fig. 8, dem Buche Ewalds S. 12 entnommen, zeigt die Kopfhaltung einer Taube, die durch eine übergezogene Kappe am Sehen verhindert wird. Sehend zeigte das Tier keine merkbaren Abweichungen der Kopfhaltung.



Fig. 8. Kopfhaltung einer labyrinthlosen Taube, wenn die Orientierung durch das Auge ausgeschlossen ist.

Goltz ¹⁾, welcher zuerst die Idee begründete, daß wir es in dem Ohrlabyrinth mit einem Organ zu tun haben, welches die Empfindung der Kopf- und damit der Körperstellung vermittelt, gibt auch einen sehr interessanten Versuch an, welcher zeigt, daß die Körperbewegungen auch bei erhaltenem Labyrinth nicht mehr völlig reguliert werden können, sobald die Stellung des Kopfes abnorm ist und infolgedessen die Lageveränderungen des Körpers andere Verschiebungen der Statolithen und der die halbzirkelförmigen Kanäle füllenden Flüssigkeit erzeugen als in der Norm. Goltz nähte einer Taube den Kopf genau in derselben verdrehten Stellung vor der Brust fest, welche ein anderes Tier, dessen Bogengänge teilweise zerstört waren, dauernd innehielt. Der Kopf wurde nach rechts soweit herumgedreht, bis der Scheitel dem Erdboden zugewendet war und das Hinterhaupt die Brust berührte. Seine Haut wurde mit der der Brust fest vernäht. Setzte man das Tier, an dem diese chirurgisch geringfügige Operation ausgeführt war, auf eine Stuhllehne, so fiel es sofort nach hinten herab, als man den Stuhl nur wenig neigte. Es war ganz unfähig zu fliegen; ließ man es frei in der Luft los, so stürzte es unter lebhaftem Flügelschlag senkrecht auf den Fußboden. Es werden offenbar die Flügelmuskeln nicht mehr in ihren kräftigen Bewegungen so koordiniert, und die Haltung des Rumpfes entsprechend reguliert, wie es für die Behauptung des Gleichgewichtes beim Fluge nötig ist. Die Störungen waren hier wohl deshalb

¹⁾ Fr. Goltz, Über die physiologische Bedeutung der Bogengänge des Ohrlabyrinths. Pflügers Arch. III, 172, 1870.

besonders groß, weil die abnorme Stellung des Kopfes auch den anderen Regulator der Körperhaltung, die Augen verdrehte, die Gesichtseindrücke nicht in ihrer normalen Beziehung zu den Bewegungen des Tieres zustande kommen konnten, so daß auch vom Auge her unzweckmäßige Bewegungsimpulse dem Hirn zugeleitet wurden. — So ist es auch verständlich, daß das Tier auch auf dem Erdboden keine Neigung zeigte, von selbst seinen Standort zu verlassen. Wurde das Tier durch Reize zu Bewegungen veranlaßt, so machte es einige Schritte rückwärts.

Die Bedeutung, welche die vom Labyrinth ausgehenden Empfindungen für unsere Raumvorstellungen haben, hat besonders Cyon ¹⁾ durch sehr genaue Prüfung der Raumorientierung im Dunkeln nachgewiesen. — Um die Genauigkeit mit der wir über die 3 Raumkoordinaten im Dunkeln orientiert sind, zu prüfen, ließ er die Versuchspersonen an einer senkrecht aufgestellten Tafel senkrechte und horizontale Striche ziehen; auf einer zweiten horizontalen Tafel mußten dann einander kreuzende Striche in frontaler und sagittaler Richtung, d. h. von links nach rechts und von vorn nach hinten ausgeführt werden. Diese Aufgabe wurde von den Versuchspersonen mit großer Präzision ausgeführt, so lange sie ihren Kopf in normaler Stellung hielten. Jede Neigung des Kopfes nach vorn oder hinten, nach rechts oder links, und ebenso jede Drehung des Kopfes um die Längsachse des Körpers hatte Fehler in der Zeichnung der Linien zur Folge, welche zwar individuell verschieden groß waren, aber für jede abnorme Haltung des Kopfes gesetzmäßig bei allen Personen in derselben Richtung erfolgten. Dies zeigt evident, daß das Sinnesorgan, welches uns im Dunkeln eine genaue Raumorientierung ermöglicht, im Kopfe gelegen ist und durch jede Lageänderung des Kopfes beeinflußt wird. — Sehr interessant und die nahen Beziehungen des Raumsinnes zum Hören erläuternd, ist der Befund, daß nach intensiven lange dauernden Höreindrücken, z. B. nach Hören eines Konzerts, die Fehler wesentlich vergrößert werden. — Stärker als nach Hören von Musik werden aber die Fehler nach eigenem Violinspiel des Versuchsobjektes. Hier kommt vielleicht noch ein anderes bedeutungsvolles Moment in Betracht, das ist die lange andauernde einseitige Neigung des Kopfes beim Halten der Violine. Das Labyrinth stellt sich wahrscheinlich auf diese lange eingenommene Haltung ein und macht deshalb größere Fehler als wenn die normale Stellung dauernd innegehalten wäre. Der Befund ist analog dem Verhalten der Taube mit in abnormer Lage fixiertem Kopf. Daß die andauernde Linksneigung des Kopfes beim Violinspiel in der Tat den Fehler bei der nachfolgenden Prüfung des Raumsinnes vergrößert hat, geht daraus hervor, daß der Fehler nach dem Musizieren bei Linksneigung des Kopfes 28°, bei Rechtsneigung aber 36° betrug. Hatte keine Musik eingewirkt, so betrug die Winkelabweichung gleichmäßig bei Links- und Rechtsneigung 1—2°. Die Beziehung der Schalleindrücke zum Vestibularapparat ist aber in jüngster Zeit noch durch eine eigenartige Versuchsanordnung von Piper demonstriert worden, und zwar bei Fischen, bei denen man nach den vorher (S. 17) kurz besprochenen Beobachtungen ein gänzlich Fehlen von Gehöreindrücken angenommen hatte. — Piper benutzte zu seinen Studien die Tatsache, daß jeder Nerv und auch jede Sinneszelle bei der

¹⁾ E. von Cyon, Pflügers Arch. 71 S. 72, 79 S. 211, 90 S. 585, 94 S. 139, 96 S. 486, 118 S. 525.

Tätigkeit ein modifiziertes elektromotorisches Verhalten zeigt. Die tätige Zelle verhält sich negativ im Vergleich zur ruhenden, und diese Negativität dauert genau so lange wie der aktive Zustand. Wir besitzen heutzutage in dem von Einthoven ¹⁾ in die physiologische Technik eingeführten Saitengalvanometer ein ausgezeichnetes Instrument, um diese äußerst geringen und flüchtigen Potentialschwankungen zu registrieren. Das Saitengalvanometer besteht aus einem äußerst dünnen versilberten Quarzfaden von wenigen Tausendstel Millimeter Dicke, der in einem starken magnetischen Felde ausgespannt ist. Sobald der schwächste galvanische Strom diesen feinen Leiter durchfließt, wird er aus seiner Ruhelage abgelenkt und zwar nach entgegengesetzter Seite je nach der Richtung des Stromes. Die winzigen Ablenkungen des durch eine kräftige Bogenlampe beleuchteten Fadens werden mit Hilfe einer Mikroskoplinsse auf gleichmäßig vor dem punktförmigen Bilde der Fadenmitte vorbeibewegtem photographischem Papier als eine Kurve registriert. Die Empfindlichkeit des Instruments ist so groß, daß man damit nicht nur den Ablauf des Erregungsvorganges, welcher bei momentaner Reizung einer Stelle eines Nervenstamms sich über diesen mit einer Geschwindigkeit von etwa 30 m pro Sekunde fortpflanzt, genau messen kann, sondern auch die flüchtige Änderung des Potentials in der Netzhaut des Auges bei momentaner Belichtung desselben. — Mit Hilfe dieses Apparates hat Piper die Frage behandelt, ob Schall erregend auf das Ohrlabyrinth der Fische einwirkt. Er halbierte den Kopf eines Hechtes von oben nach unten, entfernte das Hirn und legte von 2 zum Saitengalvanometer führenden Elektroden die eine an den auf der Schnittfläche zutage tretenden Otolithen, die andere 1—1½ cm von dieser Stelle entfernt an einen indifferenten Punkt. So oft die von einer Membranpfeife erzeugten Schallwellen dem Kopfstück durch das Wasser zugeleitet wurden, entstand ein Strom im Sinne des Negativwerdens der Gegend des Otolithen. Der Strom trat 0,02 Sekunden nach Ertönen des Schalles auf und bestand mit allmählich abnehmender Intensität, so lange die Pfeife tönte, 0,02—0,04 Sekunden nach Abklingen des Tones hörte der Strom auf. — Mechanische Erschütterung des Wassers rief einen solchen Aktionsstrom nicht hervor. Leiser Druck auf den Otolithen oder mechanische Verschiebung desselben auf den Nervenzellen erzeugte nur unregelmäßige Aktionsströme von wechselnder Richtung. Verfasser hält durch diese Versuche die Schallerregbarkeit des Fischlabyrinths für sicher bewiesen, wenn er auch seine Bedeutung für die Raumorientierung des Tieres durchaus anerkennt. Er meint, daß die „Raumsinnfunktionen des Labyrinths in ähnlichem Sinne der Aufgabe der Schallperzeption angegliedert sind, wie im Gebiete des Gesichtsinnes sich zur prinzipiellen Aufgabe der Lichtperzeption die der optischen Orientierung fügt“. — Es muß weiterer Forschung vorbehalten bleiben, den Widerspruch zu klären zwischen diesen Befunden und dem vergeblichen Bemühen von Beer, Kreidl und anderen Forschern irgend ein sicheres Zeichen von Hören bei Fischen nachzuweisen.

Ansichts des Widerspruchs, der zwischen den Befunden Pipers, aus welchen dieser ein Hören der Fische ableitete, und den negativen Ergebnissen aller vorsichtigen Versuche, bei Fischen Reaktionen auf Schalleindrücke nachzuweisen, besteht, bleibt

¹⁾ W. Einthoven. Ein neues Galvanometer. Onderzoekingen in het Physiolog. Laboratorium te Leiden 1904, S. 168.

nach wie vor der Raumsinn die wesentlichste Leistung des sogenannten Gehörorgans der Fische. Die Beziehung des Raumsinns zum Labyrinth beim Menschen wird aber noch durch einige Versuche illustriert, welche wir bisher nicht besprochen haben. Neben Breuer, dessen Versuche wir schon oben erwähnten, hat besonders der Physiker Mach die Reaktionen, welche beim Menschen vom Ohrlabyrinth ausgehen, speziell die Erscheinungen des Schwindels bei rascher Rotation des Körpers genau studiert. Ihm, wie allen anderen Forschern auf diesem Gebiete, fielen die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen schneller Körperrotation und abnormen zuckenden Bewegungen der Augäpfel, dem sogenannten Nystagmus auf. Diese Bewegungen kann man, so weit sie bei offenen Augen erfolgen, darauf beziehen, daß der Mensch versucht, die einmal fixierten Punkte des Raumes mit dem Blick festzuhalten, daß dies aber infolge der schnellen Rotation nicht gelingt und nun immer neue ruckweise Einstellungen auf Fixpunkte stattfinden. Der Nystagmus wird aber auch bei geschlossenen Augen beobachtet, man kann die ruckweisen Bewegungen der Augäpfel durch die geschlossenen Lider hindurch fühlen. Das beweist, daß die Bewegung der Augen noch von einer anderen Stelle des Körpers als von der eigenen Netzhaut beeinflußt wird und diese Stelle ist wiederum das Organ der Raumorientierung, das Ohrlabyrinth. Der Zusammenhang der Augenbewegungen mit Reizen, welche das Ohrlabyrinth treffen, konnte in allen Versuchen, bei welchen Operationen, Verletzungen oder Reizungen des Ohrlabyrinths ausgeführt wurden, nachgewiesen werden. Speziell in dem mehrfach zitierten Buche von Ewald finden sich zahlreiche hierher gehörige Beobachtungen und Experimente. Von besonderer Bedeutung aber zur Beurteilung dieser Erscheinungen ist das, was man bei Erkrankungen des Ohrlabyrinths beobachtet. Bei Taubstummen beruht der Verlust des Gehörs in der größeren Zahl der Fälle auf Entzündungen und Eiterungen, welche das Ohrlabyrinth in früheren Lebensjahren, meist im Anschluß an Scharlach und andere Infektionskrankheiten, betroffen haben. Die anatomische Untersuchung solcher Taubstummen ergibt in einem großen Teil der Fälle vollständige Zerstörung des Labyrinths, d. h. sowohl der Gehörschnecke, in welcher unzweifelhaft die eigentlichen Tonempfindungen zustande kommen, als auch des Otolithenapparates und der halb-zirkelförmigen Kanäle. In einer kleineren Zahl der Fälle ist nur die Schnecke zerstört, während die letztgenannten Organe noch mehr oder weniger funktionsfähig erscheinen. Diesen differenten anatomischen Befunden entspricht nun das Verhalten des Raumsinns der Taubstummen. In einem ähnlich großen Prozentsatz derselben, wie nach den anatomischen Untersuchungen sich eine vollständige Zerstörung des Labyrinths findet, fehlt der vorher von uns erörterte Einfluß desselben auf die Augenbewegungen sowohl, wie auf die Empfindung der richtigen Lage des Körpers. Wenn ein derartiger Taubstummer auf einem Rotationsapparate in schnelle Umdrehungen versetzt wird, fallen alle nystagmusartigen Bewegungen seiner Augäpfel weg, sobald die Augen geschlossen sind. Diese Bewegungen der Augen beruhen also auf nervösen, vom Labyrinth ausgehenden Impulsen, welche die Stellung des Auges in die den Lageempfindungen des Labyrinths entsprechende Blickrichtung einzustellen streben. In der Tat ist nun bei zerstörtem Labyrinth das Auge das einzige Sinnesorgan, welches abgesehen von den Muskelempfindungen über die Lage im Raume und über passive Bewegungen des Körpers orientiert. Das tritt am eklatantesten in einer Reihe von

Erfahrungen über das Verhalten Taubstummer im Wasser zutage. Wenn ein normaler Mensch beim Baden taucht und seinen Körper unter Wasser in irgendwelche von der senkrechten abweichende Stellung bringt, so ist er doch in jedem Augenblick über unten und oben orientiert. Es gelingt ihm fast unbewußt, mit wenigen Schwimmstößen wieder zur Oberfläche des Wassers zu gelangen. Anders der Taubstumme, dessen Labyrinth zerstört ist. Er ist, sobald er unter Wasser aufhört zu sehen, vollkommen desorientiert und darum in höchster Gefahr zu ertrinken. Es beruht dies darauf, daß ja im Wasser der Einfluß der Schwere auf den Gesamtkörper so gut wie vollkommen aufgehoben ist, und deshalb die Richtung, in der die Schwere wirkt, d. h. die Richtung oben und unten nur noch durch einen Apparat erkannt werden kann, der auch im Wasser durch die Schwere beeinflußt wird, und das ist eben der Otolithenapparat unseres Labyrinths. Der Flieger in der Luft ist keineswegs in gleichem Maße auf den Otolithenapparat angewiesen; er hat ja, abgesehen von der Orientierung durch das Auge auch im Druckgefühl der Haut ein wesentliches Hilfsmittel, um jede Schwankung seiner Körperstellung zur Schwerlinie zu erkennen. Nicht mit Unrecht sagen erfahrene Flieger, daß sie mit Hilfe ihres Gesäßes jede Schwankung ihres Flugzeuges mit großer Sicherheit erkennen. Da ja der Drucksinn unserer Haut, wie wir schon früher sahen, auf kleine Änderungen des belastenden Druckes mit großer Feinheit reagiert, kommen von hier aus kleine Schwankungen der Körperstellung zum Bewußtsein. Es besteht aber keinesfalls eine so feine Verbindung der die Muskeln innervierenden nervösen Zentren mit der Hautsensibilität gerade der Sitzgegend, wie sie etwa mit derjenigen der Fußsohlen vorhanden ist. Die Fußsohlen werden ständig beim Gehen und bei wechselnden Stellungen des Körpers als Organe zur Beurteilung der Beziehungen des Menschen zur Unterlage, zum Boden, benutzt und darum sind die Regulationsmechanismen, welche auf jede Ungleichheit in der Belastung der Fußsohlen durch zweckmäßige kompensierende Muskelbewegungen reagieren, viel vollkommener ausgebildet als jene, welche etwa von der Haut des Gesäßes ausgehen. Da alle diese Regulationen, sowohl die von der Haut, wie die vom Ohrlabyrinth ausgehenden, mehr oder weniger unbewußt erfolgen, kann auch der Flieger, wenn er automatisch zweckmäßige Regulationsbewegungen bei Schwankungen seines Sitzes ausführt, nicht entscheiden, wieviel von diesen Bewegungen vom Ohrlabyrinth, wieviel von der Hautsensibilität her ausgelöst wird. Auf alle Fälle erscheint es in hohem Maße gewagt, wenn ein Mensch, dessen Otolithenapparat nicht normal fungiert, die Leitung eines Flugzeuges versucht. Es fehlt ihm jedenfalls ein wichtiges Hilfsmittel, welches die schnelle und halbautomatische Reaktion auf jede Schwankung seines Sitzes vermittelt. Diese Warnung gilt nicht nur gegenüber Menschen, bei denen der Otolithenapparat gänzlich zerstört ist, er gilt in viel höherem Maße gegenüber geringen Störungen dieses Apparates, wie sie bei Entzündungen des Mittelohrs, zuweilen schon bei Verschuß der Ohrtrumpete auftreten und sich in leichten Schwindelerscheinungen äußern, die besonders bei Druckschwankungen im Mittelohr, also etwa beim Nießen, beim Schnauben der Nase und ähnlichen Vorgängen bemerkbar werden. Die durch derartige relativ unbedeutende Störungen verminderte Leistungsfähigkeit wird besonders da hervortreten, wo die Steuerung des Flugzeuges möglichst den normalen Kompensationsbewegungen, welche wir

instinktiv bei Lageänderung unseres Körpers ausführen, angepaßt ist, und eine solche Anpassung wird mit Recht bei allen neueren Apparaten durchgeführt. Man sieht ja noch bei manchen Flugzeugen den Steuerapparat unsymmetrisch, etwa zur rechten Hand angeordnet. Das halte ich für recht bedenklich, weil es zu Störungen der Gleichgewichtslage des Fliegers gerade in kritischen Momenten Anlaß geben kann. Die Bedeutung der möglichst automatisch, unseren gewohnten Reflexen entsprechend auszuführenden Steuerbewegungen hat J. R. Ewald in einem sehr anregenden Aufsatz in der Frankfurter Zeitung vom 19. Oktober 1909 auseinandergesetzt. — Hier finden sich auch entsprechende Hinweise auf die mit der Schwierigkeit der mechanischen Leistungen wachsende Ausbildung des Goltzschen Sinnesorgans in der Tierreihe. „Wir finden bei statisch besonders geschickten Tieren die Bogengänge größer, gleichmäßiger in ihrer Rundung und mehr zu einzelnen selbständig ausgebildeten Ringen entwickelt. Das Eichhörnchen hat in diesem Sinne besser ausgebildete Bogengänge als das Kaninchen, der Affe bessere als der Hund, der Fisch bessere als die Schlange. Die besten haben die Vögel.“ Unter diesen wieder fand Ewald das vollkommenste Organ bei den Schwalben, dann kommen Tauben und Raben, weit zurück stand das Huhn und noch mehr die Gans. — Im Hinblick auf die Bedeutung dieser Dinge für den Steuerapparat des Flugzeugs wollen wir noch einmal einen Blick auf den nervösen Regulationsmechanismus des fliegenden Vogels werfen. Wenn auch das Gehirn und die ihm ständig vom Labyrinth, vom Auge und von der gesamten empfindenden Körperoberfläche zugeleiteten Erregungen für die reguläre Ausführung des Fluges von entscheidender Bedeutung sind, so wird doch diesen höheren Zentren ein Teil ihrer Arbeit durch das verlängerte Mark und Rückenmark abgenommen. Besonders lehrreich sind in der Hinsicht die Versuche, welche W. Trendelenburg über die Bewegungsstörungen anstellte, die bei Tauben nach Durchschneidung der hinteren Rückenmarkswurzeln auftreten. — Die Bedeutung der durch die hinteren Wurzeln dem Zentrum zugeleiteten Reize (Empfindungen) für die koordinierten Bewegungen ist ja genügend bekannt aus den Störungen des Ganges des Menschen bei der *Tabes dorsalis* (vgl. S. 11) und aus den analogen Störungen, welche höhere und niedere Tiere nach Durchschneidung der hinteren Rückenmarkswurzeln in der Bewegung der von den zugehörigen vorderen Wurzeln versorgten Muskeln zeigen. W. Trendelenburg ¹⁾ hat die hierher gehörigen Störungen des Vogelflugs untersucht. Nach beiderseitiger Durchschneidung der Hinterwurzeln der Flügelnerve ist das Flugvermögen dauernd aufgehoben, dagegen ist es nach einseitiger Durchschneidung dieser Wurzeln so gut wie absolut intakt. Hierin besteht ein auffälliger Gegensatz zwischen Fliegen und Gehen: Letzteres ist nämlich auch bei einseitiger Störung der zugehörigen Hinterwurzeln hochgradig gestört. Die Ataxie ist zuweilen nach einseitiger Durchschneidung so stark, daß das Gehen unmöglich wird, wie es regelmäßig bei beiderseitiger Durchschneidung der Fall ist. Der Unterschied erklärt sich daraus, daß die Flügelbewegungen beider Körperseiten stets symmetrisch erfolgen, die Beinbewegungen dagegen alternierend, so daß die Bewegung jedes Beines für sich durch die Empfindungen kontrolliert werden muß. —

¹⁾ Trendelenburg, Über die Bewegung der Vögel nach Durchschneidung hinterer Rückenmarkswurzeln. Arch. f. (Anat. u.) Phys. 1906, und weitere Untersuchungen u. s. w. ebenda Suppl. S. 231. Ferner 1908, S. 201 und *Ergebn. d. Physiologie* 10, S. 454.

Trendelenburg hat auch den Mechanismus der Beeinflussung der Flug- und Gangbewegungen durch die den Muskeln zugeordneten sensiblen Nerven genauer analysiert. Er konnte zeigen, daß die Spannungen der Muskeln, Sehnen und Gelenke, bis zu einem gewissen Grade auch die Verlagerungen der Haut, welche mit einer extremen Stellung des Flügels oder des Beines beim Gehen verbunden sind, durch Vermittlung der zentripetalen Nerven die Innervation der Muskeln, welche diese Stellung herbeigeführt haben, hemmen und die Tätigkeit der Antagonisten in Gang bringen. Der Mechanismus entspricht durchaus dem, welchen wir durch Hering und Breuer schon längst für die Regulation der Atmung kennen. Hier erregt jede Ausweitung der Lungen, gleichgültig ob sie durch eine normale Weitung des Brustkastens oder durch Aufblasen der Lungen bei eröffneter Brusthöhle erfolgt, die nervösen Zentren der Ausatmung durch Vermittlung der dem zehnten Hirnnerven angehörenden Empfindungsnerven, während jede Entleerung der Lunge andere Fasern desselben Nervenstammes erregt, welche dem Zentrum Impulse zu einer Betätigung der die Brust erweiternden Einatemungsmuskeln zuleiten. Man hat diesen nervösen Mechanismus die Selbststeuerung der Atmung genannt, indem man ihn mit dem Steuermechanismus einer Dampfmaschine verglich, welcher den Eintritt des Dampfes in den Zylinder und damit die Bewegungsrichtung des Kolbens umstellt, sobald der Kolben an einer gewissen Stelle seiner Bahn angekommen ist.

So vollzieht sich also die Sukzession der Flügelschläge in richtiger Ordnung durch die Reflexbahnen des Rückenmarks allein, sobald der erste Impuls dazu vom Hirn gegeben ist. Aber diese Sukzession kann jederzeit vom Hirn her unterbrochen und in ihrem Ablauf geändert werden, ebenso wie normal der erste Impuls von ihm ausgeht. Auf diese vom Hirn ausgehenden Reize und Hemmungen haben nun die das Gleichgewicht des Körpers kontrollierenden Sinnesorgane, das Auge und das Labyrinth den entscheidenden Einfluß. Fehlt die Erregung des Auges in absoluter Dunkelheit und damit die Möglichkeit der Kontrolle von Hindernissen bei der Bewegung, so wird der Rückenmarksreflex gehemmt, seine Bahn blockiert und das gleiche gilt, wenn die Gleichgewichtsorgane im Labyrinth ausgeschaltet sind. — Ewald hat durch interessante Versuche seines Schülers Emanuel die Beziehungen der genannten höheren Zentren zu den Muskelreflexen, welche sich im Rückenmark abspielen, dargelegt. Emanuels ¹⁾ Versuchsanordnung war folgende:

Ein Frosch war in senkrechter Stellung, mit den Füßen nach unten, an ein Stativ befestigt. Beide Füße waren mit Schreibhebeln verbunden, welche jede Lageveränderung, speziell also jede zuckende Verkürzung des Beines auf eine rotierende Trommel aufschrieben. Wenn man nun plötzlich an den Hebeln angebrachte Gewichte herabfallen ließ und dadurch eine Zerrung an den Beinen ausübte, so erfolgte im Anschluß an diese eine Verkürzung der Beine, welche zum Teil elastische Rückschwingung der gedehnten Muskeln über die Gleichgewichtslage war, zum Teil aber auf einer durch die Zerrung ausgelösten, in gesetzmäßiger Weise ablaufenden Zusammenziehung der Beinmuskeln beruhte. Man konnte diese Muskeltätigkeit von der reinen elastischen Schwingung leicht dadurch trennen, daß man denselben Ver-

¹⁾ Emanuel, Über die Wirkung der Labyrinth und des Thalamus opticus auf die Zugkurve des Frosches. Pfügers Arch. Bd. 99, S. 363.

such nach Tötung des Tieres und Zerstörung seines Nervensystems ausführte. In diesem Fall kam natürlich nur die elastische Schwingung zum Ausdruck. Das Gleiche wurde beobachtet, wenn die Empfindungsnerven eines Beines durchschnitten waren, aber merkwürdigerweise auch bei intakten Empfindungsnerven der Beine, wenn die Ohrlabyrinth zerstört waren, oder die Abschnitte des Zentralnervensystems, mit welchen diese in Verbindung stehen. Da bei der Versuchsanordnung von Emanuel eine direkte Reizung des Ohrlabyrinths durch Lageveränderung ausgeschlossen war, ergibt sich aus dem Versuch die Tatsache, daß vom Ohrlabyrinth ständig Einflüsse ausgehen, welche das Verhalten der Muskeln gegenüber Empfindungsreizen, ihren Spannungszustand (Tonus) beeinflussen. Eine Tatsache, die Ewald übrigens schon aus einer ganzen Reihe Beobachtungen an labyrinthlosen Tieren gefolgert hat. Für uns ist die Erkenntnis von besonderer Wichtigkeit, daß beim Versagen der Labyrinth auch die Regulation der Muskelbewegungen von der Haut und vielleicht von den Nervenendigungen in den Sehnen und Gelenken wesentlich gestört ist, ein Grund mehr, allen Störungen der Labyrinthfunktion beim Flieger besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

IV. Bedeutung der Ballongase für die Gesundheit des Luftfahrers.

Unter den Gefahren der Luftschiffahrt spielt die giftige Wirkung der Ballongase eine gewisse Rolle. Während der Fahrt strömt ja bei starkem Aufstieg und bei Besonnung des Freiballons Gas in großen Mengen aus dem Füllansatz aus und sammelt sich in der Umgebung des Ballons, da ja dieser mit den Luftströmungen sich bewegt, eine Reinigung der Luft durch Wind also faktisch nicht stattfindet. Bei Verwendung von Leuchtgas dokumentiert sich die Ansammlung der Gase im Korb deutlich durch den Geruch. Die Frage, ob hierbei gelegentlich durch das giftige Kohlenoxyd Schädigungen der Balloninsassen zustande kommen können, ist nicht absolut zu verneinen. Namentlich wenn man sich in raschem Aufstieg der Höhe von 4000 bis 6000 m nähert, wo der Sauerstoffmangel fühlbar wird, können schon ganz geringe Mengen von Kohlenoxyd gefährlich werden. Diese Erwägung sollte namentlich von der Verwendung des wegen seiner Leichtigkeit und Billigkeit sehr verlockenden Wassergases (CO und H₂ zu annähernd gleichen Teilen) abhalten. Wenn Leuchtgas zur Erreichung der gewollten Höhe nicht ausreicht, sollte man stets reinen Wasserstoff nehmen.

Viel akuter als die Gefahr durch Ausströmen von Ballongas während der Fahrt ist eine andere, welche daraus resultiert, daß die bei der Füllung beschäftigten Personen zuweilen in die Lage kommen, das Ballongas fast rein oder in sehr hohen Konzentrationen einzuatmen. Würde es sich um reinen Wasserstoff handeln, so könnte dadurch nur eine vorübergehende Erstickung mit Ohnmacht zustande kommen, welche kaum üble Folgen hinterlassen würde, wenn der Verunglückte schnell an die frische Luft gebracht wird. Man muß aber bei der Füllung von Ballons daran denken, daß die Ohnmacht bei Atmung reinen oder mit wenig Luft gemischten Wasserstoffs

eintritt, ohne daß ein Gefühl von Atemnot oder sonstige subjektive Warnungen sich bemerkbar machen. Es sollte darum kein Arbeiter am Füllansatz beschäftigt sein, ohne durch eine in der Nähe befindliche Person ständig überwacht zu werden. Bei Füllung mit Leuchtgas ist die Gefahr größer, weil das Kohlenoxyd, das im Leuchtgas je nach seiner Herkunft in Mengen von 5—10 % und noch mehr (im sogen. Wassergas bis nahezu 50 %) enthalten ist, sich mit dem roten Blutfarbstoff zu Kohlenoxydhämoglobin verbindet und dadurch die Sauerstoffversorgung der Organe noch längere Zeit unmöglich macht, nachdem der Verunglückte aus dem Bereich der giftigen Gase entfernt ist. Bekanntlich ist der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin, der Träger des Sauerstoffs aus den Lungen zu den Geweben und Organen des Körpers. 1 g Hämoglobin bindet 1,3 ccm O₂, so daß 100 ccm Blut mit durchschnittlich 14 g Hämoglobin über 18 ccm Sauerstoff transportieren. Ohne die Affinität des Hämoglobins würden dagegen 100 ccm Blut auf dem Wege der physikalischen Absorption nur 0,4 ccm Sauerstoff aufnehmen können. Da das Blut bei jedem Kreislauf etwa $\frac{1}{3}$ seines Sauerstoffvorrats, rund 6 ccm abgeben muß, um den Bedarf der Gewebe zu decken, ist die physikalisch absorbierte Menge dieses Gases für den Unterhalt des Lebens absolut ungenügend. Die Versorgung der Gewebe mit Sauerstoff vollzieht sich dadurch, daß das Sauerstoffhämoglobin nach später genauer zu besprechenden Gesetzen in einer sauerstoffarmen Flüssigkeit zerfällt und um so mehr von seinem Sauerstoff abgibt, je niedriger der Sauerstoffgehalt der Flüssigkeit ist. Infolgedessen reguliert der Sauerstoffverbrauch der Organe die Zufuhr; je mehr verbraucht wird, desto mehr gibt das Hämoglobin ab. Andererseits nimmt das Hämoglobin umso weniger Sauerstoff auf, je niedriger der Gehalt der Lungenluft an diesem Gase ist, oder je verdünnter diese Luft beim Aufsteigen in größere Höhen wird. Die Bedeutung dieses Umstandes für die Grenzen, bis zu welchen wir in der Atmosphäre ungestraft emporsteigen können, ist noch besonders zu erörtern. Hier haben wir uns nur der Tatsache zu erinnern, daß das Kohlenoxydgas eine etwa 150 mal stärkere Affinität zum Hämoglobin hat als der Sauerstoff. Infolgedessen wird, wenn gleiche Mengen Kohlenoxyd und Sauerstoff eingeatmet werden, nur $\frac{1}{150}$ des Hämoglobins mit Sauerstoff sich verbinden, der ganze Rest mit Kohlenoxyd. Praktisch verhält sich also das Blut bei Atmung eines derartigen Gemisches so, als ob es überhaupt nur den physikalisch absorbierten Sauerstoff enthielte, und der Atmende erstickt ebenso wie in einer sauerstofffreien Atmosphäre. Die Sauerstoffbindung des Hämoglobin sinkt aber schon unter das unentbehrliche Minimum von 6 %, wenn die geatmete Luft neben den 15 % Sauerstoff, welche sich normal in den Lungenbläschen finden, nur 0,3 % Kohlenoxyd enthält.

Das an den Blutfarbstoff gebundene Kohlenoxyd entweicht wieder bei Atmung einer davon vollkommen freien Luft. Diese Regeneration des Blutes kann sich aber nur langsam vollziehen, weil zunächst nach der Entfernung des Verunglückten aus der kohlenoxydhaltigen Atmosphäre die Lungenluft noch längere Zeit das giftige Gas enthält und auch immer neue Mengen desselben aus dem Blute in diese gelangen. Nun genügt aber ein Fehlen des Sauerstoffs während drei Minuten, um die nervösen Zentra der Atmung zu lähmen. Man wird deshalb bei den durch Kohlenoxyd Verunglückten durch das bloße Verbringen in frische Luft selten eine Wiederbelebung erzielen können. Man muß die gelähmte

Atmung durch künstliche Einpumpung von Luft in die Luftwege ersetzen, die Methode der künstlichen Atmung anwenden, welche im wesentlichen darauf hinausläuft, daß man in regelmäßigem Rhythmus den Brustkasten kräftig komprimiert und dann mit dem Druck wieder nachläßt. Diese Methode sollte daher von allen Menschen, welche sich mit der Füllung von Ballons beschäftigen, oder die Aufsicht bei diesem Geschäft führen, geübt sein. Die Art der Handhabung der künstlichen Atmung läßt sich durch einige Abbildungen besser als durch viele Worte illustrieren. Im Prinzip handelt es sich entweder darum, durch kräftigen Druck auf eine möglichst

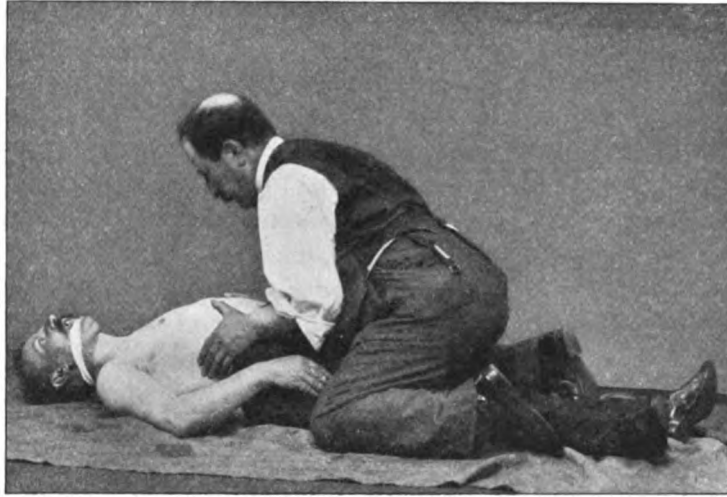


Fig. 9. Künstliche Atmung nach Marshall Hall. Zusammendrücken des Brustkorbes.

ausgedehnte Partie des vorderen Brustumfangs Luft aus den Lungen auszutreiben und die Wiederfüllung dann der eigenen Elastizität der Rippen zu überlassen, oder darum, die von den Armen zum Brustkasten gehenden Muskeln als Zugstränge zur Hebung der Rippen und damit zur Erweiterung des Brustkastens zu benützen. Die erstere Methode zeigt Fig. 9 in der Phase des kräftigen Zusammendrückens des Brustkastens. Die Zunge ist vorgezogen und mit ihrer Spitze durch ein umgeschlungenes Tuch gegen die Lippe befestigt¹⁾. Die letztere Methode, welche von Silvester herrührt, wird zweckmäßig in der Art ausgeführt, daß man bei dem auf dem Rücken liegenden Patienten beide Arme über den Kopf hebt und in dieser Stellung einen kräftigen Zug nach oben und hinten an den Armen ausübt. Fig. 10. Es sind dann wesentlich die vom Oberarm zu den Rippen ziehenden, die vordere Begrenzung der Achselhöhle bildenden breiten Brustmuskeln, welche die Rippen emporziehen. Nach so bewirkter Dehnung des Brustkastens führt man die Arme nach abwärts, legt die Vorderarme über die unteren Brustpartien und drückt auf sie und die Oberarme derart, daß der Brustkasten stark verengt wird. Fig. 11. Man kann auf diese Weise, wie Messungen von Loewy und George Meyer ergeben

¹⁾ Diese 3 Abbildungen sind mit gütiger Erlaubnis von Prof. George Meyer dem im Auftrage des Kgl. Ministeriums des Innern herausgegebenen Nothelferbuch entnommen.

haben, mit jeder Ein- und Ausatmungsbewegung zwei Liter und mehr Luft fördern, das ist so viel, wie der Mensch bei ziemlich angestrenzter Arbeit mit jedem Atemzuge ventiliert. Die Anwendung der künstlichen Atmung wird, wenn die Kohlenoxyd-

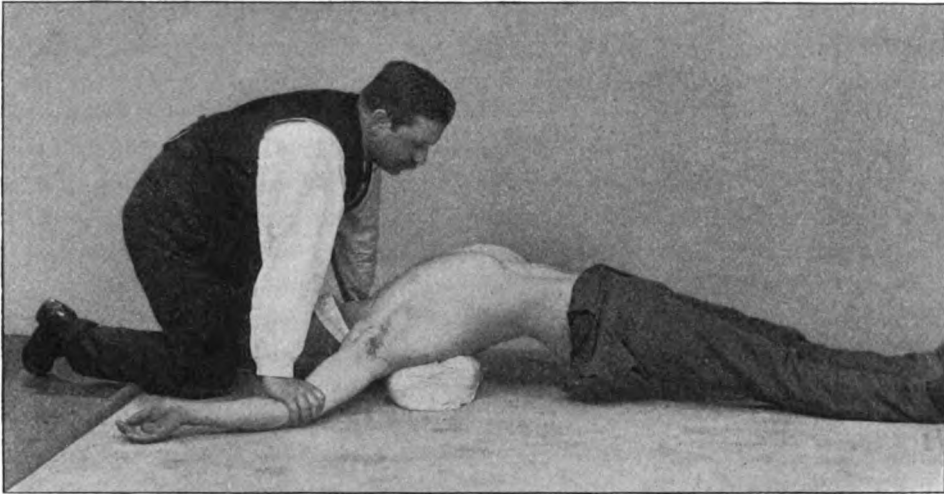


Fig. 10. Künstliche Atmung nach Silvester. Einatmung.



Fig. 11. Künstliche Atmung nach Silvester. Ausatmung.

vergiftung nicht zu lange gedauert hat, zur Wiederbelebung ausreichen. Wenn aber das Blut fast vollständig mit Kohlenoxyd gesättigt ist, erweist es sich oft als nötig, reinen Sauerstoff zuzuführen. Hierzu sollte man ja auf den Ballonfüllplätzen eingerichtet sein, weil es zweckmäßig ist, daß Bomben mit komprimiertem Sauerstoff zur Mitgabe an die Luftschiffer für Hochfahrten bereit gehalten werden. Wenn eine derartige Bombe bereits mit einer Inhalationsmaske versehen ist, wird

man diese vor Mund und Nase halten und durch Zuströmen von Sauerstoff bei fest schließender Maske eine kräftige Ausdehnung des Brustkastens bewirken, dann für einen Moment den Sauerstoffstrom abschließen, die Maske entfernen, worauf die eigene Elastizität des Brustkastens die Luft aus den Lungen entweichen läßt. In dieser Weise kann man, indem man je etwa 3 bis 5 Sekunden lang Sauerstoff einströmen läßt und dann ebenso lange Zeit Mund und Nase frei gibt, eine sehr wirksame künstliche Atmung bewirken. Die belebende Wirkung einer solchen Prozedur übertrifft aus zwei Gründen die einfache künstliche Atmung in hohem Maße. Einmal absorbiert das Blut aus dem zur Einatmung gebrachten reinen Sauerstoff auf rein physikalischem Wege etwa fünfmal so viel Sauerstoff wie aus der Luft, d. h. 100 ccm Blut nehmen statt 0,4—0,5 ccm über 2 ccm Sauerstoff auf. Außerdem aber wird durch den dichteren Sauerstoff das Kohlenoxyd in fünfmal stärkerem Maße aus seiner Verbindung mit dem Hämoglobin verdrängt und dadurch die Entgiftung beschleunigt. Während eine Mischung von Luft mit 0,3 % Kohlenoxyd bei längerer Einatmung schon tödlich wirkt, kann eine Mischung von reinem Sauerstoff mit ca. 1½ % Kohlenoxyd noch ohne Gefahr geatmet werden, wie Haldane durch Versuche an Tieren und Menschen bewiesen hat.

Wenn man bei Verunglückten auf die eine oder die andere Art künstliche Atmung einleitet, darf man nicht vergessen, darauf zu achten, daß die Luft wirklich ungehindert in die Lungen eintreten kann. Bei Bewußtlosen fällt die Zunge leicht der Schwere nach rückwärts gegen den Kehldeckel und verstopft dadurch den Eingang des Kehlkopfs. In solchen Fällen muß man die Zunge nach vorn ziehen und event., indem man die Spitze mit einem Tuch umwickelt, dauernd vorgezogen halten; vgl. Fig. 9—11. Oft erweist es sich als nützlich, an der Zunge rhythmisch im normalen Tempo der Atmung einen kräftigen Zug nach vorn zu üben. Ein solcher Zug hat auch bei Bewußtlosen, wenn nur die Ohnmacht nicht allzu tief ist, eine reflektorische Einatmung zur Folge.

Bei Wasserstoffüllung des Ballons kommen aber noch andere Gefahren in Betracht, weil dieses Gas in der Regel nicht rein ist. Bekanntlich wurde Wasserstoff früher ausschließlich durch Einwirkung verdünnter Schwefelsäure auf Zink oder Eisen erzeugt. In beiden Fällen entsteht reines Wasserstoffgas, wenn die Ingredienzien keine anderen Metalloide enthalten. Nun enthält aber die Schwefelsäure von ihrer Darstellung her fast immer Spuren arseniger Säure, und dann bildet sich neben Wasserstoff das ungemein giftige Arsenwasserstoffgas. Eine zweite Quelle dieses giftigen Gases sind die selten fehlenden Beimengungen von Arsen zum Eisen und häufig auch zum Zink. Nicht ganz so häufig wie Beimengungen von Arsenwasserstoff hat man auch solche von Antimonwasserstoff und Selenwasserstoff in dem entwickelten Gase beobachtet. Durch Arsenwasserstoff sind bereits eine ganze Anzahl von Todesfällen und schweren Erkrankungen bei Menschen, die bei der Füllung von Ballons tätig waren, festgestellt worden, und diese Fälle haben zu einer eingehenden Untersuchung der in Betracht kommenden Verhältnisse durch eine wissenschaftliche Kommission des französischen Kriegsministeriums geführt. Ausführliches über die Ergebnisse findet sich in einer Monographie von Chevalier und Chaignot: „Les intoxications par des gaz des ballons“, Paris 1904. Nach den in großem Umfange ausgeführten Tierversuchen erstreckt sich die Giftigkeit des Arsenwasserstoffs

in erster Linie auf die roten Blutkörperchen, ist also insofern mit der Giftwirkung des Kohlenoxyds einigermaßen verwandt. Aber es bildet sich nicht eine leicht wieder in normales Hämoglobin zurückzuführende Verbindung, vielmehr kommt es zu einer mehr oder weniger weitgehenden Zerstörung der roten Blutkörperchen, aus denen das Hämoglobin in die Blutflüssigkeit übertritt, um dann weiter zu dem für die Sauerstoffaufnahme unfähigen Methämoglobin oxydiert zu werden. Letzteres wird durch die Nieren ausgeschieden und erzeugt hier entzündliche Veränderungen, deren höhere Grade zu einer vollständigen Unterdrückung der Harnsekretion und im Anschluß daran zum Tode führen. In den Tierversuchen der Verfasser erwiesen sich Mengen von Arsenwasserstoff bis zu 20 ccm verteilt in 2000 l Atemluft noch nicht lebensgefährlich. Bei größeren Mengen trat zunächst Erbrechen ein, dann jene Störungen in der Blutbeschaffenheit und als deren Folgen innerhalb einiger Tage Gelbsucht, Harnverhaltung und schließlich Tod. Es bedarf keiner ungewöhnlich großen Verunreinigung der Schwefelsäure mit arseniger Säure, um dem entwickelten Wasserstoff hochgradige Giftigkeit zu erteilen. Ebenso kommen die hierzu nötigen Arsenmengen in Eisenfeilspänen ziemlich häufig vor. Die Verfasser erklären einen Gehalt von 0,1 g Arsen auf 1 kg konzentrierter Schwefelsäure als die äußerste Menge, welche noch ohne große Gefahr zulässig ist. Im allgemeinen frei von arseniger Säure ist die nach dem Kontaktverfahren hergestellte Schwefelsäure, und diese sollte man zur Herstellung von Ballongasen verwenden. Viel sicherer ist es aber natürlich, sich ausschließlich des elektrolytischen Wasserstoffs zu bedienen, wie er in neuerer Zeit ja faktisch in Bitterfeld und an anderen Orten bei Füllung der Ballons zur Verwendung kommt. Bei diesem Gas ist die Beimengung der vorher erwähnten giftigen Wasserstoffverbindungen absolut ausgeschlossen. — Eine Vergiftungsgefahr durch Ballongas kommt gelegentlich auch bei der Landung zustande. v. Schroetter (Hygiene der Aeronautik 1912, S. 45) erwähnt einen solchen Unfall, der ihn selbst im Juni 1902 betroffen hatte: „Ich hatte mich besonders mit dem Freimachen des Ballons beschäftigt, der noch ziemliche Mengen von Gas enthielt; plötzlich traten unter heftigstem Gürtelschmerz im Bereich der unteren Brustapertur (vielleicht Krampf des Diaphragmas) Vernichtungsgefühle ohne Übelkeit ein, und ich sank zu Boden; der Zustand dauerte etwa 2—3 Minuten.“ v. Schroetter berichtet ferner von einem Todesfall bei einem jungen Manne, der sich bemühte, einen zwischen Tannen verfangenen Ballon frei zu machen. Er wurde durch die ausströmenden Gase betäubt, verwickelte sich in das Netzwerk und erstickte so.

V. Einwirkung größerer Höhen auf Kreislauf und Atmung.

Seit den ersten Versuchen von Otto von Guericke und R. Boyle mit der Luftpumpe weiß man, daß es eine gewisse Verdünnung der Luft gibt, welche mit dem Leben der Organismen unverträglich ist. Dementsprechend muß man erwarten, daß die nach oben zunehmende Luftverdünnung der Höhe, welche man im Luftballon erreichen kann, eine Grenze setzt. Diese Grenze ist mehrfach erreicht und überschritten worden. Am meisten besprochen in der Hinsicht ist das traurige Ende der Hochfahrt von Tissandier mit Sivel und Crocé-Spinelli, welche von Paris

aus im Jahre 1871 mit dem Ballon „Zenith“ eine Höhe von 8600 m erreichten. In dieser Höhe wurden alle drei Insassen des Ballons bewußtlos, Tissandier hatte in 7450 m Höhe bei 300 mm Luftdruck in benommenem Zustande die letzten Notizen gemacht. Sivel und Crocé-Spinelli erwachten aus tiefer Ohnmacht, als der Ballon von 8000 m wieder auf 7400 m gefallen war, warfen in halb betäubtem Zustand reichlich Ballast, was ein neues Steigen bis zum Maximum von 8600 m zur Folge hatte. Hierbei trat der Tod der beiden Luftfahrer ein. Als der Ballon im Fallen wieder ein Niveau von 6000 m erreicht hatte, erwachte Tissandier aus der Ohnmacht, um zu konstatieren, daß seine beiden Gefährten tot waren. Gerade an diese Fahrt knüpften sich die weitgehendsten Erörterungen über die Ursache derartiger Todesfälle und der Unverträglichkeit größerer Höhen mit dem Leben des Menschen und der Tiere. Seit man den Sauerstoff und seine Bedeutung für das Leben erkannt hatte, wurde die Frage diskutiert, ob der Tod durch Luftverdünnung auf mechanische Ursache, Verminderung des enormen Druckes der Luft, welcher auf die Oberfläche des Körpers wirkt, zu beziehen sei, oder auf den Mangel an Sauerstoff in der eingeatmeten Luft. Kurz vor der verhängnisvollen Fahrt des „Zenith“ hatte Paul Bert, der berühmte französische Physiologe, die Wirkung der Änderung des Luftdrucks auf den Menschen in so umfassender Weise experimentell durchgearbeitet, wie dies bis dahin auch nicht entfernt geschehen war. Er machte vor allem vergleichende Versuche in der Art, daß er einerseits bei unverändertem Luftdruck den Sauerstoffgehalt durch Beimengung von Stickstoff oder einem anderen indifferenten Gas herabsetzte, andererseits eine sehr starke Luftdruckverminderung erzeugte, wobei aber der Sauerstoffgehalt dadurch relativ hoch gehalten wurde, daß er nicht die gewöhnliche Atmosphäre, sondern eine Atmosphäre von nahezu reinem Sauerstoffgas der Verdünnung unterwarf. Es zeigte sich bei diesen Versuchen unzweifelhaft, daß die Dichte des Sauerstoffes in der eingeatmeten Luft maßgebend für die Lebensgrenze ist. Wenn die eingeatmete Luft aus reinem Sauerstoff bestand, konnte man mit der Verdünnung erheblich weiter gehen als bei atmosphärischer Luft. Die schließlich eintretenden Krankheitserscheinungen waren in beiden Fällen die gleichen. Die Tiere wurden schwach, taumelten, fielen um, zeigten zuweilen Krämpfe, und wenn der Druck noch weiter erniedrigt wurde, trat der Tod ein. Beim genauen quantitativen Studium der Wirkung verminderten Luftdrucks, wie es noch vor kurzem Rozendaal unter Leitung von Kronecker durchgeführt hat, ergab sich jedoch, daß man die Dichte, den Partialdruck des Sauerstoffs beim Aufenthalt in atmosphärischer Luft ohne Gefahr stärker herabsetzen darf, als bei Aufenthalt in reinem Sauerstoffgas. Dies zeigt sich besonders auffällig in folgendem von Kronecker angegebenen Versuch. — Man bringt ein Tier unter eine Glocke mit reinem Sauerstoff und verdünnt bis das Tier umfällt und dem Tode nahe scheint. Läßt man jetzt reinen Stickstoff einströmen, wodurch der absolute Druck erhöht wird, aber natürlich der Partialdruck des Sauerstoffs unverändert bleibt, so erholt sich das Tier alsbald. — Kronecker hat hieraus den Schluß gezogen, es komme wesentlich auf den absoluten Luftdruck an, indem ein allzu niedriger Druck die Verteilung des Blutes beeinflusse und speziell Blutstauung in den Lungen bewirke. Durch eine genauere Untersuchung der obwaltenden Verhältnisse konnte ich aber zeigen, daß bei Zufuhr reinen Stickstoffs zu dem unter niedrigem Drucke stehenden Sauerstoff

dessen Partialdruck in den Lungenalveolen erheblich gesteigert wird. Wie dies zu Stande kommt, soll später erörtert werden. — Ehe die Erhöhung der Sauerstoffspannung in den Alveolen durch die Zufuhr von Stickstoff nachgewiesen war, mußte Kroneckers Versuch als ein schwerwiegendes Argument gegen die überwiegende Bedeutung des Sauerstoffmangels bei den Erscheinungen der Luftverdünnung wirken. In dieser Hinsicht hat auch die Todesfahrt der französischen Aeronauten zu vielen Diskussionen Anlaß gegeben. Paul Bert hatte denselben nämlich auf Grund seiner experimentellen Erfahrungen empfohlen, nach Erreichung einer Höhe von 6000 m Sauerstoff zu atmen, und ihnen zu diesem Behufe mehrere Gummisäcke mitgegeben, welche eine Mischung von Luft und Sauerstoff enthielten. Da trotz dieser Vorsicht der Tod der beiden Aeronauten eintrat, glaubten viele, es sei nunmehr bewiesen, daß nicht Sauerstoffmangel, sondern mechanische Ursachen die Grenze bestimmten, bis zu welcher wir in der Atmosphäre emporsteigen können. In gleichem Sinne hatte man früher viele Erfahrungen von Bergsteigern und Luftfahrern benutzt. In den Berichten über derartige Hochtouren findet sich vielfach die Angabe, daß Nasenbluten oder auch Lungenblutungen eingetreten seien. Diese Blutungen erklärte man rein mechanisch durch die Annahme, der verminderte Druck der Luft halte nicht mehr genügend dem Druck des Blutes in den Gefäßen das Gleichgewicht, und so komme es zu einer Zerreißen der letzteren. Wäre diese Auffassung richtig, so müßten die Blutungen eine regelmäßige Erscheinung bei Luftverdünnung sein. Sie sind aber eine seltene Ausnahme, man beobachtet sie fast nie bei Tieren unter der Glocke der Luftpumpe. Eine genauere Analyse der in Betracht kommenden physikalischen Verhältnisse widerspricht aber auch derartigen Deutungen entschieden. Die Luft als ein leicht bewegliches Medium gleicht ihren Druck überall hin fast momentan aus. Wenn der äußere Druck der Luft sinkt, sinkt in gleichem Maße derjenige aller mit der Außenwelt in Berührung stehender Luftmengen im Innern des Körpers. Speziell die Luft in der Nase und den weiteren Luftwegen bis zu den Lungenbläschen hin muß momentan dieselbe Spannung annehmen, wie die des Körpers an allen Stellen gleichzeitig die Druckverminderung erfahren, kann Luft, welche von außen die Haut umspült. Da also das Blut und alle Flüssigkeiten diese unmöglich auf die Verteilung des Blutes im Körper einen Einfluß ausüben, wie dies bis in die jüngste Zeit noch einige hervorragende Forscher, vor allen Kronecker in Bern annahmen. Es sei noch daran erinnert, daß alle Flüssigkeiten und Gewebe des Körpers dieselbe minimale Zusammendrückbarkeit besitzen wie das Wasser, daß also ihr Volumen durch Änderung des Druckes um eine Atmosphäre nicht merkbar verändert wird. Nur in dem besonderen Fall kann der äußere Druck auf die Raumverhältnisse im Innern des Körpers wirken, wenn sich dort Luft außer Kommunikation mit der Außenwelt befindet. Derartige, wenn auch nicht absolut, so doch relativ abgesperrte Luftmengen, die ihren Druck mit der Außenluft nicht momentan ausgleichen können, finden sich im Innern unseres Ohrs in der sogenannten Paukenhöhle und in verschiedenen Abschnitten des Verdauungsapparates. Die Paukenhöhle kommuniziert zwar durch die tuba Eustachii mit dem Schlunde, aber diese zum Teil knorpelige, zum Teil aber auch durch häutige Wandungen begrenzte Röhre ist für gewöhnlich durch Aneinanderliegen der Wände an ihrer Einmündung in den Schlund verschlossen. Häufig gesellt sich dazu Ansammlung zähen Schleimes, welche

die freie Kommunikation der Luft der Paukenhöhle mit dem Schlund verhindert. Der für gewöhnlich hermetische Verschuß der Schlundmündung der tuba öffnet sich nur beim Schlucken für Momente. Sowie der Außendruck absinkt, dehnt sich daher die Luft in der Paukenhöhle aus und drückt auf ihre Wandungen, besonders auf das ungemein nervenreiche, zarte Trommelfell, welches die Paukenhöhle gegen den äußeren Gehörgang abschließt. Die so bewirkte Spannung des Trommelfells wird schon bei einer plötzlichen Änderung des Luftdrucks um wenige Millimeter schmerzhaft empfunden. Diese schmerzhaft empfundene Luftspannung ist jedem Luftschiffer bei schnellen Aufstiegen, aber in stärkerem Maße noch bei raschem Sinken des Ballons bekannt. Man kann sie meist durch einige Schluckbewegungen, welche die Schlundöffnung der tuba wegsam machen, beseitigen. Die Empfindlichkeit des Trommelfells gegen kleine Druckschwankungen ist so groß, daß man ohne Beobachtung des Barometers aus den in ihm auftretenden Spannungs-Empfindungen sofort erkennen kann, wenn der Ballon steigt oder fällt. Die Geschwindigkeit, mit welcher die modernen Bergbahnen ihre Passagiere in die Höhe tragen, ist schon groß genug, um die Empfindungen am Trommelfell auszulösen und sie sogar zu quälender Höhe zu steigern, wenn durch entzündliche Schwellungen der Paukenhöhle der Luftausgleich erschwert oder unmöglich gemacht ist. Wegen der Gefahren, welche der Nichtausgleich der in der Paukenhöhle eingeschlossenen Luft dem Gehörorgan bringen kann, muß man bei bestehenden Katarrhen des Rachens, die sehr häufig auf die Ohrtrumpete übergreifen, sich von der Durchgängigkeit derselben überzeugen, ehe man an einer Luftfahrt teilnimmt. Auch ohne besondere Prüfung verrät sich der Verschuß der Ohrtrumpete an knackenden Geräuschen und unangenehmen Spannungsgefühlen im Trommelfell, welche man häufig beobachtet. Diese mechanischen Wirkungen der Luftdruckveränderungen sind natürlich in ihrer Intensität abhängig von der Schnelligkeit und von der absoluten Größe der Druckschwankungen. Wir werden sie darum in noch stärkerem Maße als bei der Luftverdünnung im Ballon bei der Variation des Luftdruckes um mehrere Atmosphären, wie sie der Taucher und der Arbeiter in den sogenannten Caissons erfährt, finden. Bekanntlich verdoppelt sich der Luftdruck, wenn man 10 m tief in das Wasser taucht. Es setzen sich daher die Taucher, welche in Tiefen bis zu 50 m und mehr arbeiten, einem Druck von 5 Atmosphären aus, und bei ihrem Emporsteigen sinkt der Druck in entsprechendem Maße, also viel stärker, als er selbst beim Steigen in die allerhöchsten Regionen der Atmosphäre abnehmen kann. Die Erscheinungen von seiten des Mittelohrs sind dann auch in gleichem Maße stärker, als sie der Luftschiffer beobachtet. Diese starken Luftdruckschwankungen beim Ein- und Ausschleusen der Arbeiten in Caissons, bzw. beim Tauchen in größere Meerestiefen liefern uns auch den überzeugendsten Beweis, daß abgesehen von der Paukenhöhle des Ohrs und den noch zu besprechenden Luftansammlungen des Verdauungsapparates der Organismus durch die Luftdruckänderungen an sich mechanisch nicht beeinflußt wird. Wenn die Änderung des Druckes auf die Körperoberfläche an sich irgend eine Bedeutung hätte, müßte eine rasche Abnahme des Druckes von etwa $\frac{4}{5}$ Atmosphäre Überdruck bis auf normalen Druck genau denselben Effekt auf den Körper haben wie eine Abnahme von letzterem bis auf eine Spannung von $\frac{1}{5}$ Atmosphäre. Während aber die letztere (durch Sauerstoffmangel) tödlich ist, hat die

erstere kaum ein leichtes Unbehagen, abgesehen von den Empfindungen in der Paukenhöhle, zur Folge.

Wie schon erwähnt, werden auch die im Verdauungsapparat angesammelten Gase durch die Luftverdünnung beim Ballonaufstieg ausgedehnt. Auch hier ist ein momentaner Druckausgleich nach außen darum nicht möglich, weil die vielen Krümmungen und Windungen des Darmkanals und der zeitweise Abschluß durch Aneinanderliegen der Wände einen Ausgleich durch die natürlichen Ausgangspforten des Darmes nur sehr allmählich möglich macht. Wenn aber etwa bei einem Aufstieg zu 5000 m Höhe, d. h. in eine Luft von halber Spannung die den Verdauungsapparat füllenden Gase nach dem Mariotteschen Gesetz sich auf das doppelte Volumen ausdehnen, kann dies bei bestehender stärkerer Gasblähung des Darmkanals zu einer unangenehmen Druckwirkung auf das Zwerchfell und damit zur Behinderung der Atmung führen. Eine, wenn auch absolut geringfügige, Erschwerung der Atmung muß aber in jenen Höhen, welche bereits an sich die Gefahr des Sauerstoffmangels herbeiführen, diese Gefahr nennenswert steigern. Ich habe mich noch vor kurzem an mir selbst überzeugt, daß Einführung größerer Mengen Gas in den Magen durch Trinken von sehr kohlenensäurereichen Mineralwässern zu einer Verminderung des Lungenvolumens durch Heraufdrängen des Zwerchfells führt und daß auch die maximale Ausdehnung der Lunge, welche wir durch Bestimmung der sogenannten Vitalkapazität messen, merklich beschränkt wird. Wenn infolge der Ernährungsweise andauernd stärkere Gasentwicklung im Verdauungsapparat stattfindet, wie dies namentlich nach reichlichem Genuß von zuckerreichen Speisen bei manchen Menschen, nach Aufnahme grüner Gemüse in größeren Mengen bei anderen, beobachtet wird, ist die Gefahr störender Blähung während einer Ballonfahrt gegeben. Die absolute Menge des sich im Verdauungskanal entwickelnden Gases hängt ja von der Natur der gärenden Substanzen ab. Sie ist also in der Höhe nicht größer und nicht kleiner, als sie bei gleicher Ernährung auf der Erde sein würde. Das entwickelte Gas aber nimmt der Luftverdünnung entsprechend einen größeren Raum ein und wirkt dadurch mechanisch störender. Es kommt aber noch ein zweites, diese Störung steigernes Moment hinzu. Ein großer Teil der im Darmkanal gebildeten Gase, namentlich die Kohlensäure, welche immer die Hauptmasse der Gärungsgase ausmacht, wird von dem in der Darmwand zirkulierenden Blut aufgenommen und durch dieses in der Lunge zur Ausscheidung gebracht. Nun hängt die Aufnahme von Gas in das Blut von seinem Partialdruck ab, und dieser ist, wenn eine gegebene Gasmenge vorhanden ist, um so niedriger, je niedriger der absolute Luftdruck ist. Es wird daher beim Absinken des Luftdrucks auf die Hälfte in 5000 m Höhe die Aufnahme von Gasen aus dem Darm in das Blut auf die Hälfte sinken, was natürlich störenden Ansammlungen im Darmkanal wesentlichen Vorschub leisten wird. Man muß deshalb eine rationelle Ernährung als ein keineswegs zu vernachlässigendes Moment für das Gelingen einer Hochfahrt ansehen. Die absolute Menge der aufgenommenen Nahrung muß gering sein, blähende Gemüse, Süßigkeiten, leicht gärendes, zellulosereiches Brot, etwa Pumpernickel, der Genuß moussierender Getränke und dgl. müssen vermieden werden.

Wir wenden uns nunmehr einer genaueren Betrachtung der wesentlichsten Schädlichkeit bei Hochfahrten, des Sauerstoffmangels zu. Da offenbar die volle Würdigung der hier in Betracht kommenden Maßnahmen auch in Fachkreisen nicht

durchgehends besteht, da ferner die Erreichung möglichst großer Höhen im Ballon an eine genaue Kenntnis aller einschlägigen physiologischen Gesichtspunkte geknüpft ist, wollen wir diese jetzt etwas eingehender erörtern. Der Sauerstoff der geatmeten Luft tritt durch die äußerst dünne Zellschicht, welche die Luft der Lungenbläschen von dem in ihrer Wandung zirkulierenden Blut trennt, in dieses über. Nach der gerade in jüngster Zeit durch neue Beweise gestützten Auffassung der meisten Sachkenner handelt es sich dabei um einen rein physikalischen Vorgang, um eine Bewegung des Gases nach den Gesetzen der Gasdiffusion von dem Ort höherer Dichte zu dem geringerer, während nach Ansicht einiger Gelehrter, von denen besonders der jüngst verstorbene dänische Physiologe Chr. Bohr sowie Haldane in Oxford genannt werden müssen, noch eine besondere Arbeitsleistung der Lungenzellen sich an dem Transport des Sauerstoffs beteiligt. Daß eine solche Arbeitsleistung unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht nötig ist, ergibt sich aus den Messungen der Diffusionsgeschwindigkeit der Gase im Lungengewebe, welche ich vor Jahren mit Löwy ausgeführt habe und welche im wesentlichen durch die Untersuchungen von Krogh in Kopenhagen bestätigt worden sind. Es liegen aber Versuche aus jüngster Zeit von Haldane vor, welche dafür sprechen, daß bei eintretendem Sauerstoffmangel, d. h. dann, wenn die Diffusionskräfte nicht mehr ausreichen, das Blut genügend mit Sauerstoff zu versorgen, eine besondere aktive Arbeitsleistung der Zelle den Übertritt des Sauerstoffs aus den Alveolen in das Blut unterstützt. Es würde zu weit führen, wollte ich an dieser Stelle die von Haldane für seine Auffassung ins Feld geführten Versuche verständlich schildern. Vollends aber, wenn ich die Bedenken, die ich gegen die Beweiskraft derselben habe, darlegen wollte. Nur so viel sei gesagt, daß die Grenzen der Luftverdünnung, bei denen die Sauerstoffzufuhr zum Körper ungenügend wird, ziemlich gut mit jenen zusammenfallen, welche man auf Grund der rein physikalischen Betrachtung des Sauerstoffübertritts ins Blut erwarten muß. Es ist also gerade in dem Fall, der uns besonders interessiert, bei der Luftverdünnung im Ballon, die etwaige physiologische Tätigkeit der Lungenzellen nicht von ausschlaggebender Bedeutung. Wir werden daher bei den folgenden Betrachtungen von ihr absehen.

Wie schon S. 31 ausgeführt, kann das Blut seine Aufgabe, den Geweben des Körpers den für ihre chemischen Prozesse nötigen Sauerstoff zu liefern, nur dadurch erfüllen, daß es in dem roten Farbstoff der Blutkörperchen einen eigenen Sauerstoffträger besitzt. Ohne diesen Sauerstoffträger würde das Blut noch etwas weniger Sauerstoff aufnehmen können, als wir im Wasser finden, das mit Luft in ausgiebiger Berührung war. Bekanntlich hängt die vom Wasser und anderen indifferenten Flüssigkeiten aufgenommene Sauerstoffmenge von der Dichte dieses Gases in der Luft ab. Das Wasser nimmt bei jedem Druck, so lange seine Temperatur dieselbe bleibt, dasselbe Volumen Sauerstoff aus der Luft auf. Dieses Volumen hat aber bei halbem Druck selbstverständlich nur das halbe Gewicht. Die aufgenommene Gewichtsmenge Sauerstoff ist also dem Druck proportional, aber nicht dem absoluten Luftdruck, sondern nur dem Anteil, welchen der Sauerstoff an diesem Gesamtdruck hat. Wenn also 100 ccm Wasser bei der Temperatur unseres Körpers aus reinem Sauerstoff etwa 2,4 ccm aufnehmen, nehmen sie aus atmosphärischer Luft, die nur zu $\frac{1}{5}$ aus Sauerstoff besteht, nur 0,5 ccm auf. Diese 0,5 ccm wiegen im

Meeresniveau d. h. bei einem Druck von 760 mm etwa 0,7 mg. In einer Höhe von 5500 m, bei halbem atmosphärischen Druck, dagegen nur 0,35 mg. Die einem im Wasser lebenden Tier zur Verfügung stehende Sauerstoffmenge nimmt also entsprechend dem Luftdruck in der Höhe ab, und darin liegt die Ursache, daß im Wasser lebende Organismen in gewissen Höhen nicht mehr existieren können, weil sie dem Wasser nicht mehr den für ihr Leben nötigen Sauerstoff zu entnehmen vermögen. In genau derselben Lage würden sich die Zellen unseres Körpers dem Blute gegenüber befinden, wenn dieses nicht neben dem physikalisch absorbierten Sauerstoff noch den an den Blutfarbstoff gebundenen enthielte. Auch dieser Sauerstoff ist ja bei verschiedenem Luftdruck in verschiedener Menge vorhanden, aber seine Menge folgt einem anderen komplizierteren Gesetz als der physikalisch absorbierte Sauerstoff.

Der eisenhaltige in den Blutkörperchen enthaltene rote Farbstoff, das Hämoglobin, ist eine sehr komplizierte Verbindung eines Eiweißkörpers mit dem eisenhaltigen Farbstoff Hämatin. Ein Molekül dieser Verbindung vereinigt sich an der Luft mit einem Molekül Sauerstoff. Da das Molekulargewicht des Hämoglobins 16000, das des Sauerstoffs 32 ist, kommt auf 1 g Hämoglobin etwa 2 mg oder bei gewöhnlichem Luftdruck gemessen 1,35 ccm Sauerstoff. Diese Verbindung, das Oxyhämoglobin ist nur bei einer Temperatur von mehreren Graden unter 0 beständig, bei höherer Temperatur zersetzt sie sich, gibt also ihren Sauerstoff ab. Das tritt in einfachster Weise zutage, wenn wir eine kalte Lösung des an der Luft mit Sauerstoff in Verbindung getretenen Farbstoffs oder statt dessen eine Quantität Blut im luftleeren Raum allmählich erwärmen. Bei -5° entwickelt sich, wie schon erwähnt, kein Gas. Schon bei einer Temperatur von 0° aber gibt die Verbindung langsam Sauerstoff ab. Bei höherer Temperatur erfolgt diese Sauerstoffabgabe wesentlich schneller und bei der Temperatur des Warmblüterkörpers = 37° hat die Lösung in wenigen Augenblicken an den luftleeren Raum all ihren Sauerstoff abgegeben. Das gilt allerdings nur, wenn der Raum wirklich luftleer oder doch frei von Sauerstoff ist und durch eine kräftige Luftpumpe in diesem Zustande erhalten wird. Bringen wir die sauerstoffhaltige Blutlösung in ein Vakuum von beschränktem Umfang, so daß der abgegebene Sauerstoff in dem vorher leeren Raum eine gewisse Dichte erlangt, so hört die weitere Abgabe von Sauerstoff seitens des Blutfarbstoffs auf, um erst vorzuschreiten, wenn wir den Sauerstoff aus dem Luftraum entfernt haben, entweder indem wir aufs neue mit Hilfe der Luftpumpe alles auspumpen, oder indem wir den Sauerstoff durch ein indifferentes Gas, etwa Stickstoff, verdrängen. Wir erkennen durch diesen Versuch, daß die Sauerstoffverbindung des Hämoglobins bei höheren Temperaturen zwar fähig ist, vollkommen in Sauerstoffgas und zurückbleibendes Hämoglobin zu zerfallen, daß aber dieser Zerfall aufhört, sobald eine gewisse Quantität Sauerstoff sich in dem Raum befindet. Wenn wir diesen Versuch in der Weise ausführen, daß wir zunächst mit Hilfe der Luftpumpe die vollständige Trennung des Sauerstoffs von der Hämoglobinlösung herbeiführen und dann in den jetzt luftleeren Raum eine bestimmte Quantität Luft oder reinen Sauerstoff eintreten lassen, so wird ein großer Teil des Sauerstoffs sofort wieder vom Hämoglobin gebunden und zwar in um so reichlicherer Menge, je größer seine Dichte in dem Luftraum ist. Für jede Dichte des Sauerstoffs besteht also eine gewisse Größe seiner Auf-

nahme ins Blut, oder mit anderen Worten, bei jeder Dichte des Sauerstoffs haben wir es im Blute zu tun mit einer Mischung der Hämoglobinsauerstoffverbindung und des reinen Hämoglobins, in der die Sauerstoffverbindung um so mehr überwiegt, je größer die Dichte des Sauerstoffs in der angrenzenden Atmosphäre ist. Der eben geschilderte Vorgang der Verbindung des Sauerstoffs mit dem Hämoglobin und der Wiederabtrennung desselben in Berührung mit einer sauerstoffärmeren oder -freien Atmosphäre kann sich beliebig oft wiederholen. Wie für jede Konzentration des Sauerstoffs besteht auch bei gegebener Konzentration für jede Temperatur eine bestimmte Mischung sauerstoffhaltigen und sauerstofffreien Hämoglobins, oder anders ausgedrückt: bei jeder Dichte des Sauerstoffs in der Atmosphäre ist das mit ihr in Berührung stehende Hämoglobin zu einem bestimmten von der Temperatur abhängigen Prozentsatz mit Sauerstoff gesättigt. In Berührung mit atmosphärischer Luft von gewöhnlichem Druck ist die Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff nahezu eine vollkommene, d. h. es findet sich fast genau auf 1 Molekül Hämoglobin der Lösung 1 Mol. Sauerstoff. Wie diese Sättigung bei Abnahme der Dichte des Sauerstoffs abnimmt, ergibt sich aus folgender Tabelle, welche für verschiedene Sauerstoffspannungen in der Atmosphäre die zugehörige Sättigung des Blutes mit Sauerstoff bei einer Temperatur von 38° C. angibt, wobei die Sättigung bei 150 mm Spannung, d. h. bei gewöhnlichem Atmosphärendruck, als hundert Prozent, bezeichnet wird. Daneben ist in Kol. 4 die in der Blutflüssigkeit nach dem Absorptionsgesetz gelöste Sauerstoffmenge angegeben.

Spannung mm	Sauerstoff aufgenommen Proz. chem. gebunden	in 100 ccm Blut von 38° C.	
		chem. geb. Sauerstoff	in Plasma gelöster Sauerstoff
10	30,0	6,0	0,020
20	64,7	12,9	0,041
30	81,6	16,3	0,061
40	90,4	18,1	0,081
50	95,4	19,1	0,101
60	97,6	19,5	0,121
70	98,8	19,8	0,141
80	99,5	19,9	0,162
90	99,8	19,95	0,182
150	100	20,0	0,303

Aus der prozentischen Sättigung ist in Kol. 3 die im Blute bei normalem Hämoglobingehalt faktisch vorhandene Sauerstoffmenge berechnet. Diese Zahlen erleiden nun noch eine weitere, für das Verständnis der Atmung wichtige Komplikation durch die Einwirkung der im Blut nie fehlenden Kohlensäure auf die Sauerstoffbindung durch das Hämoglobin. Die Verbindung des Sauerstoffs mit dem Hämoglobin wird durch die gleichzeitig vorhandene Kohlensäure gelockert, oder mit anderen Worten: bei Gegenwart von Kohlensäure ist die durch eine bestimmte Sauerstoffspannung bewirkte Sättigung des Hämoglobins eine unvollkommene. Das ist zahlenmäßig in folgender Tabelle¹⁾ ausgedrückt:

¹⁾ Nach Bohr Blutgase u. resp. Gaswechsel. Braunschweig 1905, S. 92.

Tabelle über den Einfluß der Kohlensäurespannung auf die Sauerstoffaufnahme im Blut bei 38°.

Sauerstoffspannung mm	Aufgenommener Sauerstoff			
	5 mm CO ₂	20 mm CO ₂	40 mm CO ₂	80 mm CO ₂
5	11	5	3	1,5
10	28,5	14	9	4
15	51	27	18,5	8
20	67,5	41	29,5	14
25	76	54	40	22
30	82	63,5	50	31
35	86	71	58	40
40	89	77	66,5	49
45	91	82	73	56
50	92,5	86	78,5	62,5
60	95	90,5	86	73
70	97	94	91	80,5
80	98	96	94,5	87
90	98,5	97	96	91,5
100	99	98	97	95
150	100	100	99,8	99,5

Man sieht aus der Tabelle, daß der Einfluß der Kohlensäure bei höherer Sauerstoffspannung nur sehr gering ist, denn die Sättigung, welche bei 150 mm Sauerstoffspannung und 5 mm CO₂ 100 beträgt, wird durch Erhöhung der Kohlensäurespannung auf 80 mm nur auf 99,5 erniedrigt. Dagegen nimmt bei 5 mm Sauerstoffspannung unter der gleichen Zunahme der Kohlensäure der aufgenommene Sauerstoff von 11 % auf 1,5 % ab. Diese Wirkung der Kohlensäure kommt der Verwertung des Sauerstoffs im Körper gewöhnlich zugute. In den Geweben, wo der Sauerstoff gebraucht wird, entsteht durch den Lebensprozeß der Zellen Kohlensäure, die aus den Zellen in das Blut überströmt. Infolgedessen wird die Spannung der Kohlensäure in den Geweben erhöht. Während sie in der Lunge bei normaler Atmung etwa 30—35 mm beträgt, steigt sie in den Geweben bis zu etwa 50 mm. Andererseits macht sich eine störende Wirkung der Kohlensäure für die Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff bei verminderter Dichte dieses Gases, also etwa bei Atmung in großen Höhen, geltend. Wie wir noch sehen werden, haben wir in einer Meereshöhe von 5000 m noch mit einer Sauerstoffspannung in den Lungen von 40—50 mm zu rechnen. Unter diesen Umständen ist die Sättigung des Blutes bei 45 mm O-Spannung, wenn der Kohlensäuregehalt desselben ein niedriger ist, die CO₂-Spannung nur 20 mm beträgt, noch 82 %, bei 40 mm dagegen nur 73 %. Es ist also für die möglichst gute Versorgung des Körpers mit Sauerstoff wichtig, daß der Kohlensäuregehalt der Lungenluft ein möglichst niedriger, der des Kapillarenblutes in den Geweben dagegen ein möglichst hoher sei.

Als eine weitere Grundlage der Lehren, welche sich aus den mitgeteilten Tatsachen für die Hygiene des Aufenthaltes in sehr großen Höhen der Atmosphäre ergeben, müssen wir nun noch kurz erörtern, wie man die Spannung des Sauerstoffes und der Kohlensäure an der atmenden Oberfläche der Lungenbläschen ermitteln

kann. Es ist ja ohne weiteres klar, daß in den Luftbläschen der Lunge der Gehalt an Sauerstoff wesentlich niedriger, der an Kohlensäure erheblich höher sein muß als in der Außenluft, welche wir einatmen. Die Lunge des Menschen enthält bekanntlich ein gewisses Quantum Luft, welches auch bei stärkster Ausatmung nicht entleert werden kann, die Residualluft. Ihre Menge beträgt durchschnittlich etwa 1 Liter. Bis auf diesen Wert können wir aber den Luftgehalt der Lunge nur durch willkürlich aufs äußerste verstärkte Ausatmung bringen, normal bleibt ein wesentlich größeres Luftquantum, das wir bei ruhiger Atmung auf 2500—3000 ccm schätzen können, in der Lunge zurück. Diesem Luftvorrat, welcher aus 1000 ccm Residualluft und 1500—2000 ccm „Reserveluft“ besteht, werden bei einer normalen ruhigen Einatmung etwa 500 ccm Luft beigemischt und nur bei willkürlich oder infolge gesteigerten Bedürfnisses bis aufs Äußerste verstärkter Einatmung fügt sich zu dieser normalen Einatemungsluft die sogenannte Komplementärluft in Höhe von wiederum 1800 ccm. Aus diesen Tatsachen ergibt sich, in welchem Umfange wir die Menge der ein- und ausgeatmeten Luft wechselnden Bedürfnissen anpassen können. Indem wir mit äußerster Anstrengung ein- und ausatmen, fördern wir statt der normalen 500 ccm annähernd 4000 ccm. Es hängt nun, wie leicht einzusehen, die Beschaffenheit der in den Lungenbläschen mit dem Blute in Wechselverkehr tretenden Luft einerseits von der Menge Sauerstoff ab, welche das Blut in der Zeiteinheit aus ihr aufnimmt und von der Menge Kohlensäure, welche es abgibt, und andererseits von der Menge frischer Luft, welche durch die Atembewegungen in die Lungenbläschen gelangt. Für die Wirkung dieser Zufuhr ist es aber nicht gleichgültig, ob eine bestimmte Menge Luft den Lungen durch viele flache oder durch wenige sehr voluminöse Atemzüge zugeführt wird. Der letztere Vorgang läßt den Kohlensäuregehalt der Luft der Lungenbläschen niedriger, ihren Sauerstoffgehalt höher werden als die flache Atmung bei gleichem geförderten Luftvolumen. Dieser Unterschied erklärt sich daraus, daß nicht die ganze eingeatmete Luft wirklich in die Lungenbläschen gelangt. Ein Teil bleibt in den Zufuhrwegen, d. h. in der Nase, dem Schlund, dem Kehlkopf und der Luftröhre mit ihren Ästen und wird zu Beginn des nächsten Atemzuges wieder in nahezu unveränderter Beschaffenheit entleert, ohne der Luft der eigentlichen Lungenbläschen sich beigemischt zu haben. Wir bezeichnen diesen Luftraum, in dem die eingeatmete Luft noch nicht ihre Funktion erfüllen kann, als den „schädlichen Raum“. Seine Größe ist natürlich individuell verschieden, beträgt aber bei Menschen mittlerer Größe etwa 140 ccm, wie Loewy durch Messungen festgestellt hat. Wenn ein Mensch nun mit einem Atemzuge nur 140 ccm ein- und wieder ausatmet, so wird er die Luft der Lungenbläschen überhaupt kaum mit frischem Sauerstoff versorgen und auch die Kohlensäure nicht nach außen schaffen. Es würde also ein Mensch bei noch so zahlreichen, derartigen flachen Atemzügen schließlich ersticken müssen. Man kann sich durch Versuche am eigenen Körper sehr leicht von der Richtigkeit dieser Tatsache überzeugen. Wenn man etwa 1 Minute lang die normale Luftmenge von ca. 5 Litern in dieser Weise atmet, was 36 Atemzüge pro Minute erfordert, so ergibt sich, daß die ausgeatmete Luft statt, wie in der Norm etwa 200 ccm Kohlensäure zu enthalten, deren nur etwa 50 aufweist. Daß überhaupt eine nennenswerte Menge Kohlensäure unter diesen Umständen zur Ausscheidung kommt, erklärt sich dadurch,

daß sich bei den Atembewegungen Luftwirbel bilden, welche einen Teil der Luft der Alveolen bis in die größeren Luftröhrenäste vortreiben und dafür aus diesen wieder frische Luft in die Alveolen schaffen. Es wirkt ferner in diesem Sinne der Herzschlag, welcher, indem sich das Herz abwechselnd füllt und entleert, die benachbarten Lungenräume komprimiert und wieder frei gibt, so daß ein gewisser Luftwechsel in den Lungenbläschen sogar bei vollständig fehlenden Atembewegungen zustande kommt (cardiopneumatische Atmung).

Trotz dieser Beimengungen von eigentlicher Lungenluft zu der Luft des schädlichen Raumes können wir die wahre Zusammensetzung der Luft der Lungenbläschen aus der Analyse der ausgeatmeten Luft berechnen, wenn wir annehmen, daß in dieser für jeden Atemzug 140 ccm unveränderter atmosphärischer Luft enthalten sind. Die Richtigkeit dieser Rechnung ergibt sich aus der Übereinstimmung ihres Ergebnisses mit der direkten Analyse von Luft der Lungenbläschen, die wir dadurch gewinnen, daß wir den letzten Anteil einer kräftigen Ausatmung zur Analyse aufsammeln. Dies geschieht nach Haldane in der Weise, daß man nach einer normalen Einatmung durch einen langen Schlauch ausatmet und das im Munde befindliche Ende dieses Schlauches sofort nach beendigter Ausatmung mit der Zunge verschließt. An dies Ende ist seitlich ein Ansatz befestigt, durch welchen man etwa 20 ccm Luft aus dem Schlauch zur Analyse entnimmt. Durig und ich haben während eines Aufenthaltes in Teneriffa zahlreiche Berechnungen der Zusammensetzung der Alveolenluft aus der analysierten Ausatemungsluft ausgeführt, während unmittelbar vorher oder nachher Dr. Douglas, ein Mitarbeiter von Haldane, nach dessen Methode die gleichen Bestimmungen ausführte. Die Übereinstimmung war durchgehends eine befriedigende, nur einige in 3100 m Meereshöhe angestellte Bestimmungen ergaben differente Resultate, für die aber eine ausreichende Erklärung in dem Sinne gefunden werden konnte, daß die Atemmechanik schon einige Zeit vor dem von Douglas ausgeführten Versuche keine ganz normale war und dadurch eine gewisse Stauung von CO_2 im Blute zustande kam.

Da die genaue Kenntnis der Alveolartension für die Beurteilung der Höhe, in welcher der Sauerstoffmangel Gefahr bringen kann, von ausschlaggebender Bedeutung ist, wollen wir die Methode ihrer Berechnung eingehender darlegen. Nennen wir das Volumen des ganzen Atemzuges = A, das des schädlichen Raumes = a, den Prozentgehalt der ausgeatmeten Luft an Sauerstoff = E, den der eingeatmeten Luft = J, so ist der Sauerstoffgehalt der Alveolarluft = $x = \frac{A E - a J}{A - a}$.

Es sei die Rechnung durch ein Beispiel erläutert:

In einem Versuch im Meeresniveau betrug der Sauerstoffgehalt der während eines längeren Atemversuchs ausgeatmeten Luft 16 % (E); der der eingeatmeten Luft ist, so lange man im Freien atmet, natürlich konstant und beträgt 20,9 % (J).

Die in der Minute ausgeatmete Luftmenge betrug 5500 ccm, die Zahl der Atemzüge pro Minute 7, also das durchschnittliche Volumen jeder Atmung 786 ccm.

Die Zusammensetzung der Alveolarluft berechnet sich hiernach zu:

$$\frac{786 \cdot 0,16 - 140 \cdot 0,209}{786 - 140} = 14,92 \% \text{ O}_2.$$

Die hier vorliegende Atemform, wenige und tiefe Atemzüge, ist diejenige, die mir persönlich eigentümlich ist. Wir haben aber schon Menschen beobachtet, welche dasselbe Luftquantum oder ein etwas größeres in 20 Atemzügen atmeten.

Berechnen wir nun für diesen letzteren Fall die Alveolartension:

Der einzelne Atemzug würde hier betragen = $5500 \text{ ccm} : 20 = 275 \text{ ccm}$. Davon kommen nur $275 - 140 = 135 \text{ ccm}$ auf die eigentliche Lungenluft, und deren Zusammensetzung würde sein, wenn die ausgeatmete Luft wieder 16 % Sauerstoff hätte:

$$\frac{275 \cdot 0,16 - 140 \cdot 0,209}{275 - 140} = 10,82 \% \text{ O}_2.$$

Die Spannung des Sauerstoffs in den Lungenalveolen, welche den Grad der Sättigung des Blutes, wie wir oben gesehen haben, bedingt, berechnet sich aus dem Prozentgehalt und dem herrschenden Luftdruck. Es sei dieser im Meeresniveau 760 mm. Davon ist die Spannung des Wasserdampfs bei 37° C mit 46 mm abzuziehen, da ja in den Lungenalveolen die Luft stets infolge der Berührung mit der ausgedehnten feuchten Oberfläche mit Wasserdampf gesättigt ist. Der Druck der Gase beträgt also in den Lungenbläschen nur $760 - 46 = 714 \text{ mm}$. Die Sauerstoffspannung beträgt nun bei dem erst betrachteten Atemtypus 14,29 % dieses Wertes, also 106,6 mm bei dem zweiten, bei 20 Atemzügen in der Minute 10,82 % = 77,25 mm. Man sieht, wie enorm die Atemmechanik die Sauerstoffversorgung des Blutes beeinflusst. Das ist aber noch viel mehr der Fall, wenn wir uns in großen Höhen befinden, wie sich sofort ergibt, wenn wir dieselbe Rechnung für einen Barometerstand von 380 mm, etwa entsprechend 5000 m Meereshöhe ausführen. Für den ersten Atemtypus finden wir eine Sauerstoffspannung von 47,73, für den anderen 36,14. Wenn wir nun hieraus und aus der vorher S. 43 gegebenen Tabelle die relative Sättigung des Blutes mit Sauerstoff berechnen und zwar zunächst unter der Annahme, daß die Spannung der Kohlensäure in den Lungenbläschen, die wir ja in ganz analoger Weise aus der Kohlensäureanalyse der Atemluft berechnen, 20 mm betragen habe, so finden wir folgende Werte:

bei tiefer Atmung im Meeresniveau: 98 %, in 5000 m Höhe 88 %,
 bei flacher Atmung „ „ 96 %, in 5000 m Höhe 72 %.

Eine Kohlensäurespannung von 20 mm kommt aber nur bei forcierter Atmung, wie sie vielfach in größerer Meereshöhe besteht, zustande. Bei normaler Atmung erreicht diese oft 40 mm, besonders im Meeresniveau. Dann würden die entsprechenden Sättigungswerte des Blutes sein:

97 % und 76 %
 94 % und 59,5 %.

Was nun die Bedeutung dieser Abnahme der Sauerstoffsättigung des Blutes betrifft, so ist dieselbe wiederum individuell je nach der Kraft des Herzens und der Schnelligkeit des Blutumlaufs verschieden. Ein vollkommen kräftiger Mensch verbraucht im Durchschnitt bei einem Blutumlauf nur etwas über $\frac{1}{3}$ des Sauer-

stoffvorrats, den sein Arterienblut aus der Lunge mitbringt, d. h. von den 98 % der bei voller Sättigung aufnehmbaren Menge, welche bei tiefer Atmung im Meeresniveau aufgenommen werden, bleiben etwa 65 % ungenutzt und finden sich noch in dem aus dem rechten Herzen in die Lunge wieder einströmenden Venenblut. Demgemäß sollte man meinen, daß selbst eine Sauerstoffsättigung zu 59,5 %, wie wir sie bei flacher Atmung in 5000 m Höhe berechnet haben, den Bedarf des Körpers decken müßte. Denn auch hiervon würde nach Abzug von 33 % noch 26,5 % im Venenblute übrig bleiben. Diese Zahlen über den Sauerstoffverbrauch bei einem Umlauf des Blutes gelten aber nur für den Durchschnitt alles Venenblutes. In einzelnen Organen und namentlich in tätigen Organen ist der Sauerstoffverbrauch ein sehr viel größerer. Bei angestrenzter Körper-tätigkeit findet man das Venenblut im rechten Herzen sehr arm an Sauerstoff. Es enthält oft in 100 ccm nur 1—3 ccm, d. h. kaum 10 % des Gehalts bei voller Sättigung. Noch geringer ist aber oft der Sauerstoffgehalt des aus den tätigen Muskeln selbst ausströmenden Venenblutes. Dasselbe kann vollkommen sauerstofffrei sein. Daraus ergibt sich, daß für die Muskelarbeit eine ganz geringe Abnahme des Sauerstoffgehalts im arteriellen Blut schon eine Schädigung bedeutet. Wenn der tief atmende Mensch in 5000 m Höhe 10 % weniger Sauerstoff in seinem Arterienblut hat oder gar, wie das bei 40 mm Kohlensäurespannung der Fall sein würde, 20 % weniger, so bedeutet das schon eine erheblich verminderte Arbeitsfähigkeit des Körpers. Es gibt aber auch einzelne Organe, die schon in der Ruhe den Sauerstoffvorrat in dem ihnen zufießenden Blut weit stärker verbrauchen als dem Durchschnitt entspricht. Dies scheint ganz besonders in einzelnen Teilen des Hirns der Fall zu sein, so daß in diesem Organ schon geringe Abnahme des Sauerstoffgehalts des Arterienblutes Schädigung zustande bringt. Wahrscheinlich gilt für das Hirn dasselbe, was wir bei den Muskeln leicht nachweisen können, daß nämlich die tätigen Teile des Organs den Sauerstoff des durchströmenden Blutes in viel höherem Maße ausnutzen als die ruhenden. In einer eben veröffentlichten Arbeit hat Tangl gezeigt, daß starke Erregung des Gehirns, die er durch intermittierende grelle Belichtung erzielte, den Sauerstoffverbrauch von durch Curare bewegungslos gemachten Tieren erheblich steigerte. Er fand auch in dem aus den Hirnvenen abfließenden Blute während des Lichtreizes einen viel niedrigeren Sauerstoffgehalt als vorher und nachher. Nun bedeutet aber normales Fungieren der Sinne, normale Beherrschung unserer Muskulatur und schnelle Überlegung eine intensive Tätigkeit in bestimmten Teilen des Hirns, die speziell die betreffenden Funktionen leisten. So verstehen wir es, daß schon in relativ mäßigen Höhen bei einzelnen Menschen bald diese, bald jene Hirnfunktion notleidet. Bei einem ist es die Erhaltung des Gleichgewichts des Körpers, es treten Schwindelerscheinungen, Unsicherheit des Gehens auf, beim andern leidet die Verarbeitung der Sinneseindrücke; genaues Ablesen von Instrumenten, genaue Beobachtung akustischer Zeichen und dgl. werden unmöglich. Für manche Beobachtung im Ballon dürfte es von besonderer Bedeutung sein, daß zu den besonders leicht durch mangelhafte Sauerstoffversorgung geschädigten Funktionen des Gehirns der Farbensinn gehört. Ablesungen am Spektroskop oder am Interferometer und ähnlichen Instrumenten scheinen schnell in größeren Höhen mangelhaft zu werden.

Aus dem, was wir vorher über die Bedeutung des tiefen Atmens für die Sicherung eines hohen Sauerstoffgehalts in den Lungenbläschen gesagt haben, leiten sich zum Teil die enormen Unterschiede in der Toleranz verschiedener Menschen gegen Höhenluft ab. Loewy fand bei seinen ausgezeichneten Untersuchungen über die Wirkung der Luftdruckänderungen auf den Menschen ein Versuchsindividuum, das bei einem Minutenvolumen von etwa 5 Liter 18—22 Atemzüge in der Minute ausführte. Bei ihm traten schon ernste Erscheinungen des Sauerstoffmangels, in einem Fall sogar Ohnmacht, ein, bei einer Luftverdünnung, entsprechend einem Barometerdruck von 441 mm oder einer Meereshöhe von 3000 m. Ich selbst diente in den gleichen Versuchen und konnte dank meiner langsamen und tiefen Atmung (durchschnittlich 5 Atemzügen von je 800—1000 ccm) eine Luftverdünnung von 350 mm, entsprechend 6000 m Meereshöhe ohne Unbehagen vertragen. Das zeigt, in welchem Maße die individuelle Art der Atmung die Höhentoleranz beeinflusst. Wir hatten auch Gelegenheit, die Atemmechanik einiger hervorragender Höhenmenschen zu untersuchen (Berson, Süring, von Schrötter). Bei allen betrug die Atemtiefe über 500 ccm pro Atemzug. Es scheint sehr schwierig zu sein, willkürlich einen Atemmodus für Stunden inne zu halten, der von dem gewohnten verschieden ist. Offenbar hängt es von dem Bau des Brustkastens, der Leichtigkeit der Rippenhebung und der Exkursionsfähigkeit des Zwerchfells ab, ob ein Individuum seinen Luftbedarf mit geringerer Anstrengung durch zahlreiche, flache, oder durch wenige tiefe Atemzüge deckt. Unwillkürlich paßt sich nun bei jedem die Atemmechanik den Widerständen in der Weise an, daß die Gesamtarbeit der Atemmuskulatur eine möglichst geringe ist. Derartige Vermeidung unnützer Anstrengung sehen wir bei vielen, halb automatisch sich vollziehenden Funktionen unseres Körpers. Besonders charakteristisch tritt sie auch bei der Lokomotion hervor. Wenn wir die Geschwindigkeit des Gehens über eine gewisse individuell verschiedene bequeme Gangart beschleunigen, wird der Verbrauch nicht nur absolut, sondern auch für den Meter Wegs ein größerer. Wenn eine bestimmte Geschwindigkeit überschritten wird, sehen wir dann den Menschen halb unwillkürlich aus dem Gehen ins Laufen verfallen. Die Messungen des Verbrauchs haben ergeben, daß das bei der Geschwindigkeit geschieht, bei welcher der Verbrauch für das Laufen geringer ist als für das ebenso schnelle Gehen. Dasselbe habe ich bei mit Hagemann ausgeführten Untersuchungen über die Lokomotion des Pferdes gefunden.

Bekanntlich paßt sich die Atmung bei Muskeltätigkeit mit großer Präzision dem gesteigerten Verbrauch an, derart, daß, trotzdem die Verbrennung im Körper aufs 4—8 fache gesteigert ist, der Kohlensäuregehalt der Atemluft nur wenig gegenüber der Ruhe vermehrt ist und auch das Sauerstoffdefizit beinahe dasselbe bleibt wie bei Körperruhe. Diese Anpassung an den gesteigerten Arbeitsverbrauch vollzieht sich nun bei den Menschen, welche in der Norm zahlreiche, flache Atemzüge ausführen, hauptsächlich durch eine starke Vertiefung der Atmung. Diese Vertiefung hat natürlich eine Zunahme der Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen zur Folge, und so kann man gelegentlich in größeren Höhen oder bei Luftverdünnung beobachten, daß bei mäßiger Arbeit die Luftverdünnung besser vertragen wird als bei ruhigem Sitzen. So war es bei der vorher erwähnten flach atmenden Versuchsperson Loewys. Trotz des etwa aufs 5 fache gesteigerten Sauerstoffsverbrauchs

war bei ihm die Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen bei Arbeit höher als in absoluter Ruhe. Das hatte natürlich zur Folge, daß das arterielle Blut sauerstoffreicher ward, und daß demgemäß auch die Sauerstoffversorgung des Hirns während der Arbeit eine ausreichendere war als in absoluter Ruhe. Diese Erfahrung steht nur in einem scheinbaren Kontrast mit dem, was wir vorher über die Beschränkung der Arbeitsfähigkeit in größeren Höhen sagten. Durch die Arbeitsleistung der Muskeln wird ja der Sauerstoffverbrauch im Hirn nicht wesentlich geändert, infolgedessen kommt diesem der etwas erhöhte Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes zugute. Die Muskeln mit ihrem aufs 4—5 fache gesteigerten Sauerstoffverbrauch profitieren aber von dieser Zunahme des Sauerstoffgehalts um wenige Prozente nicht nennenswert.

Die hier hervortretende Tatsache, daß Muskeltätigkeit die Atmung so stark anregen kann, daß trotz des vermehrten Verbrauchs Erscheinungen von Höhenkrankheit verschwinden, wird verständlich, wenn wir den Mechanismus der Regulation der Atembewegungen ins Auge fassen. Der Impuls zur abwechselnden Vergrößerung und Verkleinerung des Brustkastens geht bekanntlich von dem sogenannten Atemzentrum im verlängerten Mark aus. Dieses Zentrum wird in der Norm und beim ruhenden Menschen im wesentlichen durch den Kohlensäuregehalt des Blutes erregt, derart, daß die Atembewegungen um so kräftiger werden, je reicher das Blut an Kohlensäure wird. Man kann experimentell nachweisen, daß jedes Millimeter Zuwachs der Kohlensäurespannung in den Lungenbläschen und damit natürlich auch in dem arteriellen zum Atemzentrum strömenden Blute die Größe der Atmung steigert. Durchschnittlich findet man, daß Zunahme der Spannung um 10 mm die Lungenventilation um 2—3 Liter pro Minute erhöht. Bei Muskeltätigkeit aber wächst die Atmung enorm, ohne daß die Kohlensäurespannung nennenswert zunimmt; manchmal, so namentlich oft bei Hunden, ist sogar die Steigerung der Ventilation durch die Muskeltätigkeit so groß, daß trotz der enorm vermehrten Produktion die Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen, also auch im Arterienblut niedriger wird. Hier muß also ein anderer Reiz wirksam sein. Man kann leicht nachweisen, daß er in den tätigen Muskeln gebildet wird, denn wenn man das aus diesen kommende Blut aufstaut, es nicht zum rechten Herzen und von hieraus weiter zum Atemzentrum gelangen läßt, bleibt die Verstärkung der Atmung aus. Sie muß also auch auf einer chemischen Substanz, welche in den tätigen Muskeln gebildet wird, beruhen. Diese Substanz scheint nun nach allen neueren Untersuchungen Milchsäure zu sein, welche stets dann in tätigen Muskeln gebildet wird, wenn die Sauerstoffversorgung derselben keine ganz genügende ist. Bei dem enormen Verbrauch der tätigen Muskeln im Vergleich zu den ruhenden ist es aber unvermeidlich, daß namentlich im Beginn der Muskeltätigkeit der Sauerstoffbedarf dieser Organe nicht ganz gedeckt ist, daß sie also vorübergehend ohne Sauerstoff (anaerobiotisch) arbeiten müssen. So kommt es, daß die Muskeltätigkeit eigentlich regelmäßig mit Milchsäureproduktion verbunden ist und dadurch verstärkte Atmung bewirkt. Das Auftreten der Milchsäure bei Muskeltätigkeit läßt sich übrigens durch direkte Titrierung des Blutes leicht nachweisen. Man kann auch zeigen, daß sie um so reichlicher auftritt, je forcierter die Muskeltätigkeit und andererseits je ungenügender die Sauerstoffversorgung der tätigen

Muskeln ist. Wir werden demgemäß erwarten müssen, daß in größerer Höhe infolge des verminderten Sauerstoffgehalts des Arterienblutes die Milchsäurebildung bei der Muskeltätigkeit besonders reichlich ist und daß dadurch die Erregung des Atemzentrums besonders intensiv wird. Das muß weiterhin dazu führen, daß bei Arbeit in größeren Höhen die Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen und damit auch im Blut infolge der forcierten Atmung heruntergeht. Die Tatsachen entsprechen durchaus diesen Überlegungen.

Eine Zunahme der Säure im Blut läßt sich auf zwei Weisen bequem demonstrieren. Entweder in der Art, wie man die Alkaleszenz irgend einer Sodalösung durch Titrieren bestimmt, indem man so lange Säurelösung von bekannter Konzentration zufügt, bis die Flüssigkeit auf Lackmuspapier neutral reagiert, d. h. bis blaues Lackmus ganz schwach gerötet wird. Mit einer gewissen Modifikation, welche durch die intensive Rotfärbung des Blutes bedingt ist, läßt sich diese Methode beim Blut anwenden. Man verfährt dabei in der Weise, daß man eine gemessene Menge Blut, etwa 5 ccm mit destilliertem Wasser aufs 10 fache verdünnt. Dadurch werden die roten Blutkörperchen aufgelöst, und es entsteht eine durchsichtige, rote Flüssigkeit. Wenn man in diese einen Streifen Lackmuspapier eintaucht, der mit konzentrierter Kochsalzlösung gesättigt ist, kann man hinterher mit Hilfe von Filtrierpapier den Blutfarbstoff vollkommen entfernen und sieht dann auf dem Papier fast so gut, als wenn man es mit einer farblosen alkalischen Lösung zu tun hätte, den blauen Farbenton, welcher die alkalische Reaktion des Blutes anzeigt. Man fügt dann stark verdünnte, etwa $\frac{1}{25}$ normale Weinsäure so lange zu, bis das eingetauchte Lackmuspapier nach Entfernung des Blutfarbstoffes eine deutliche Rotfärbung zeigt und diese auch nach etwa einer Minute noch behält. Dieses Abwarten ist nötig, um nicht durch die Wirkung der Kohlensäure getäuscht zu werden. Nach dieser Methode bestimmte Galeotti den Alkaligehalt von Kaninchenblut bei demselben Tier erst in Turin und dann auf dem Gipfel des Monte Rosa (4560 m). Es zeigte sich eine Abnahme der Alkaleszenz um etwa $\frac{1}{3}$. Ähnliche Versuche habe ich an mir selbst und mehreren Kollegen auf Teneriffa in Höhen bis zu 3000 m ausgeführt. Auch hier ist eine deutliche Abnahme, wenn auch entsprechend der geringeren Höhe keine so erhebliche, wie sie Galeotti auf dem Monte Rosa fand, nachweisbar. In ganz gleicher Weise nimmt die Alkaleszenz des Blutes ab, wenn man ein Tier starke, mit Sauerstoffmangel einhergehende Muskelarbeit ausführen läßt, wenn man etwa ein Kaninchen rasch durchs Zimmer hetzt. In diesem Falle kann die gebildete Säuremenge so bedeutend sein, daß das Blut überhaupt nicht mehr alkalisch gegen Lackmus reagiert. Sobald dieser Punkt erreicht ist, stirbt das Tier. Das ist eine Erscheinung, die man schon lange auf der Jagd beim Hetzen von Hasen und dgl. beobachtet hat. Ebenso wie bei dieser Prüfung der Reaktion gegen Lackmus, tritt die Abnahme des Alkali im Blut zutage, wenn man den Kohlensäuregehalt desselben bestimmt. Die mit der Dichte der Kohlensäure in der Atemluft wechselnde Menge der im arteriellen Blut enthaltenen Kohlensäure ist zum größeren Teil chemisch an Alkali gebunden, nur zum kleineren Teil physikalisch in der Flüssigkeit absorbiert.

In dem Maße, wie die Alkaleszenz des Blutes abnimmt, sinkt natürlich auch die gebundene Kohlensäure und damit der gesamte Gehalt des Blutes an Kohlensäure.

Marro, ein Mitarbeiter von Mosso, fand an Kaninchen diese Abnahme der Kohlensäure beim Übergang von der Ebene zum Gipfel des Monte Rosa. Der Befund kann nicht so unmittelbar wie das Ergebnis der Titrierung als Beweis verminderter Alkalimengen im Blute dienen. Es hängt ja der Kohlensäuregehalt des Blutes nicht nur vom Vorrat desselben an Alkali, d. h. von seiner Bindefähigkeit für Kohlensäure, sondern auch von der Dichte der Kohlensäure in der Lungenluft ab. Bei gegebener Alkaleszenz des Blutes entspricht jedem Kohlensäuredruck eine bestimmte Kohlensäuremenge im Blute. Wenn nun in größeren Höhen die Atmung eine forciertere, infolgedessen der Gehalt der Alveolenluft an Kohlensäure ein niedrigerer ist, muß ebenso der Kohlensäuregehalt des Blutes abnehmen. In der Tat kann man nun durch Messung der Atemvolumina feststellen, daß die Lungenventilation in größeren Höhen bei gleicher Kohlensäurebildung im Körper eine größere ist. Das kommt, wie vorher schon erwähnt, daher, daß die in der Höhe gebildete Milchsäure oder, mit anderen Worten, die verminderte Alkaleszenz des Blutes als neuer Reiz auf das Atemzentrum wirkt. Infolgedessen ist stets bei Abnahme der alkalischen Reaktion des Blutes sein Kohlensäuregehalt stärker vermindert als dieser Abnahme entspricht. Es wirken eben stets verminderte Bindefähigkeit infolge der Säurebildung und verstärkte Ventilation zusammen, um den Kohlensäuregehalt des Blutes auf einen sehr niedrigen Wert zu bringen. Wie aus dem Gesagten hervorgeht, ist die Störung des Stoffwechsels, welche in großen Höhen aus der mangelnden Sauerstoffversorgung einzelner Organe resultiert, die Ursache der Milchsäurebildung und damit der Abnahme der alkalischen Reaktion des Blutes und gleichzeitig der verstärkten Atmung.

Die aus beiden Momenten hervorgehende Verminderung des Kohlensäurevorrats im Blute hat Mosso irrtümlich als das Primäre in der Höhenwirkung angesehen und ist so zu der viel besprochenen Theorie der „Akapnie“ gekommen. Akapnie, d. h. Rauchlosigkeit: mit diesem prägnanten Ausdruck bezeichnete Mosso die Minderung des Kohlensäuregehalts im Blut. Es ist durch neuere Untersuchungen, namentlich von Henderson dargetan worden, daß sehr starke Verminderungen des Kohlensäuregehalts im Blut, wie man sie durch forcierte Lufteinblasungen in die Lunge erzielen kann, das normale Ineinandergreifen der nervösen Regulation des Blutdrucks und der Herztätigkeit ganz wesentlich stören und so Krankheitserscheinungen, ähnlich dem nach großen Verletzungen auftretenden sogenannten „shock“, herbeiführen kann. Damit hat aber die Kohlensäureverminderung beim Aufenthalt in großen Höhen nichts zu tun, denn hier tritt ja an Stelle der teilweise durch die Säure aus dem Blute verdrängten Kohlensäure eben diese nicht flüchtige Säure, die ebenso wie die Kohlensäure als Reiz für die nervösen Zentren fungiert. Vermöge dieser Bildung von Milchsäure, welche sofort einsetzt, wenn in irgend einem Organ der Sauerstoff zur Deckung des Energiebedarfs nicht ausreicht, trägt der Sauerstoffmangel in sich selbst ein Korrektiv. Zum normalen Atemreiz der Kohlensäure tritt der der Milchsäure, und so kommt es zu einer Verstärkung der Atembewegungen, welche geeignet ist, die Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen herabzusetzen und gleichzeitig die Sauerstoffversorgung des Blutes zu verbessern. Wenn die zur Milchsäurebildung führende Sauerstoffarmut sich nur in Organen geltend macht.

welche für den Ablauf der Lebensprozesse nicht in jedem Augenblick unentbehrlich sind, also nicht im Hirn oder im Herzen, veranlaßt sie verbesserte Atmung und damit wieder reichlichere Sauerstoffversorgung des Blutes, die eine Anpassung an stärkere Luftverdünnung bedeutet. Es ist also eine wichtige Bedingung für das Ertragen sehr großer Höhen, daß das Hirn so reichlich mit Blut versorgt sei, daß bei ihm der Sauerstoffmangel sich später als in der Muskulatur oder in den Drüsen der Bauchhöhle geltend macht.

Diese Erwägung sollte uns zu besonderer Vorsicht bei Hochfahrten älterer Personen veranlassen. Bekanntlich kommt es im höheren Alter sehr häufig zu einer als Arteriosklerose bezeichneten Erkrankung der Arterien, bei welcher diese ihre normale Elastizität verlieren, starr und zugleich brüchig werden. Die Erkrankung befällt zuweilen weite Strecken der Hauptarterien des Körpers, in anderen Fällen einzelne kleinere Äste. Die im höheren Alter häufigen Hirnblutungen (sog. Hirn-schlag) beruhen auf der Zerreißen derartig erkrankter Arterien. Aber auch ohne daß es zu einem solchen das Leben bedrohenden Ereignis kommt, erzeugt die Arteriosklerose der Hirngefäße mannigfache Störungen, welche auf ungenügender Blutversorgung einzelner Teile des Hirns beruhen. So beobachtet man Unsicherheit beim Stehen und Gehen, besonders aber bei feineren Hantierungen, welche häufig nur mit starkem Zittern ausgeführt werden können. In anderen Fällen besteht Schwindelgefühl, undeutliches Sehen, das sich bis zu vorübergehender Blindheit steigern kann. Alle diese Erscheinungen beruhen darauf, daß die erkrankten Gefäße, deren Ringmuskulatur zum Teil durch starres verkalktes Gewebe ersetzt ist, sich nicht mehr, dem wechselnden Bedarf des Gehirns und seiner einzelnen Teile entsprechend, verengern und erweitern können. Es kommt dadurch besonders in den jeweils stark tätigen und deshalb sauerstoffbedürftigen Teilen des Hirns zu Sauerstoffmangel, der die Funktion beeinträchtigt, unter Umständen vorübergehend lähmt. (Vergessen von Namen, von eben geplanten Dingen, Blindheit, Unfähigkeit gewisse Bewegungen auszuführen.) Wo derartige Erscheinungen bestehen oder auch nur vorübergehend auftreten, ist natürlich der verminderte Sauerstoffgehalt des Arterienblutes in Höhen über 3000 m eine ernste Gefahr. Die Kombination der beiden Schädlichkeiten, vermindertes Sauerstoffgehalt des Blutes und ungenügende Zufuhr desselben durch die erkrankten Arterien, kann bedrohliche Störungen auslösen, welche durch die Arterienerkrankung allein nicht zustande gekommen wären.

Ähnlich wie die Arteriosklerose des Hirns bedeutet auch die sehr häufige an den Kranzgefäßen des Herzens eine große und unberechenbare Gefahr bei starker Luftverdünnung. Wenn die Starre und Verengung der Herzarterien einen höheren Grad erreicht hat, kann jede plötzliche Anstrengung, die eine verstärkte Pumparbeit des Herzens verlangt, zur Erlahmung dieses Organs und damit zum Tode führen. Die gleiche Wirkung hat natürlich der verminderte Sauerstoffgehalt des Arterienblutes in größeren Höhen — das Herz erhält noch weniger Sauerstoff als sonst, seine Arbeitsfähigkeit ist also gemindert, während doch das vermehrte Bedürfnis aller Organe nach Sauerstoffzufuhr eine verstärkte Herzarbeit verlangt. Diese Forderung eines die geringere Sauerstoffsättigung des Hämoglobins kompensierenden rascheren Blutumlaufs erkennen wir beim Übergang in größere Höhen an der wachsenden Zahl der Herzschläge. In jüngster Zeit hat Fleming be-

sonders dieses Anwachsen der Pulsfrequenz bei Hochfahrten genauer studiert. Er konnte auch zeigen, daß der Pulsschlag prompt langsamer wird und sogar zu den Normalwerten am Boden zurückkehrte, wenn man Sauerstoff atmen läßt.

Um zu prüfen, ob das Gefäßsystem eines Menschen den Anforderungen einer Hochfahrt gewachsen ist, sollte man ihn einige Minuten lang eine Luft mit nur 12—13 % Sauerstoffgehalt atmen lassen und beobachten, ob dabei Störungen auftreten. — Am bequemsten kann man dies mit Hilfe einer die Kohlensäure der Ausatemungsluft absorbierenden Kalipatrone (Dräger, Lübeck), wie sie bei den Rettungsapparaten der Feuerwehr gebräuchlich sind, und eines um 4 Liter Luft fassenden Gummisacks feststellen. Wenn man aus dem Sack etwa 1½ Minuten ruhig sitzend durch die Patrone geatmet hat, ist der Sauerstoffgehalt der Luft auf etwa 13 % reduziert. Ein normaler Mensch hat dann noch keinerlei Funktionsstörungen, während bei erkrankten Hirn- oder Herzgefäßen die oben geschilderten Störungen zu erwarten sind.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß der Durchschnittsmensch bis zu Höhen von 4000 m im Ballon keine Beschwerden durch Sauerstoffmangel erfährt. Jene Fälle auffallend flacher häufiger Atmung, bei welchen schon in 3000 m Erscheinungen auftreten, sind selten. Nur dann könnten in geringeren Höhen bereits Störungen sich einstellen, wenn die Versorgung des Hirns eine auffallend schlechte ist. Sei es, daß die Gefäße des Hirns selbst so eng sind, daß sie nur gerade den Bedarf im Flachlande decken, oder daß die Herztätigkeit aus irgend einem Grunde eine besonders schwache ist. Beide Fälle dürften sich kombinieren in der Nachwirkung reichlicheren Alkoholgenusses.

Den Sauerstoff, das souveräne Mittel zur Überwindung der Höhenkrankheit, werden wir im folgenden eingehender besprechen. Hier sei nur hervorgehoben, daß man die vorher geschilderten ersten Erscheinungen des Sauerstoffmangels durch willkürliche Vertiefung der Atmung beseitigen kann.

Von der Muskeltätigkeit hatten wir schon vorher gesagt, daß sie beim Menschen mit flacher Atmung eine bessere Sauerstoffversorgung des arteriellen Blutes und damit des Gehirns herbeiführt. Andererseits ist sie es gerade, die besonders bei größeren Anstrengungen und bei forcierterer Benutzung einzelner Muskelgruppen schon in Höhen von 3000 m deutlich leidet. Es geht namentlich aus den zahlreichen Messungen, welche ich und mehrere Mitarbeiter sowie Durig auf verschiedenen Expeditionen ins Hochgebirge gemacht haben, hervor, daß die maximale Leistung der Muskulatur in einer Höhe von 3000 m schon bei der Mehrzahl der Menschen herabgesetzt ist. Diese Herabsetzung spricht sich in einem sehr interessanten und auf den ersten Blick paradox erscheinenden Phänomen aus. Wenn man den Sauerstoffverbrauch für eine bestimmte Arbeitsleistung, z. B. für das Ersteigen einer gewissen Höhe mißt, so ist er in 3000 m Höhe fast bei allen Menschen größer als im Meeresniveau. Diese Steigerung des Verbrauchs, die ja auf den ersten Blick als eine sehr unzweckmäßige Reaktion des Organismus erscheint, kommt dadurch zustande, daß bei ungenügender Versorgung der arbeitenden Muskeln mit Sauerstoff und dadurch bedingter verminderter Leistungsfähigkeit derselben Hilfsmuskeln zur Arbeit herangezogen werden, welche für die betreffende Arbeit weniger zweckmäßig gelagert sind und deshalb die Arbeit nur unter größerem Energieverbrauch

leisten können. Dasselbe Phänomen beobachten wir auch in der Ebene bei starker Ermüdung, sowie in allen Fällen, wo durch entzündliche Reizung von Sehnen oder Gelenken die Bewegung schmerzhaft wird. Ein reiches Material konnte ich in dieser Hinsicht bei meinen mit Schumburg ausgeführten Studien über die Physiologie des Marsches sammeln. Wenn ein Soldat etwa 25 km mit Gepäck marschiert ist und eine gewisse Ermüdung bei ihm Platz gegriffen hat, braucht er pro Meter Weges 5—10 % mehr Sauerstoff als im Beginn des Marsches. Dieser Mehrverbrauch ist noch ein erheblich größerer, wenn etwa eine Blase unter dem Fuße oder eine ähnliche kleine Marschschädigung eine gewisse Schonung beim Gehen erfordert. In demselben Zustande wie die ermüdeten Muskeln am Schluß eines langen Marsches befinden sich alle unsere Muskeln in stark verdünnter Luft. Weil sie mit weniger Sauerstoff versorgt sind, kommen sie früher an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit, und es werden deshalb Hilfsmuskeln zur Leistung der Arbeit herangezogen. Von besonderer Bedeutung kann dieser Umstand für den Flieger werden, der positive und sehr präzise Muskelarbeit beim Steuern aufzuwenden hat. Wenn er in Höhen von 2000 m und darüber sich befindet, ist sicher die Leistungsfähigkeit seiner Muskulatur, namentlich soweit es sich um länger andauernde Spannung der Muskeln handelt, eine herabgesetzte. Das straffe aktionsbereite Halten des Steuers in bestimmter Position bedeutet eine ständige Anspannung einer Anzahl von Muskeln der Arme. Solche Anspannung aber ist, wie jedermann aus Erfahrung weiß, viel ermüdender als selbst größere Kraftanstrengungen, die in raschen Intervallen von Erschlaffungen der Muskeln gefolgt sind. Diese stärkere Ermüdung bei der sogenannten tonischen Kontraktion des Muskels beruht darauf, daß die ständige Spannung die Blutdurchströmung der Muskeln beeinträchtigt. Der Wechsel von Kontraktion und Erschlaffung, wie er in besonders typischer Weise beim Gehen auftritt, wirkt auf den Blutstrom in den Muskeln wie eine Pumpe. Bei jeder Kontraktion werden die Venen ausgepreßt und bei der nachfolgenden Erschlaffung füllen sie sich neu in der Richtung des normalen Blutstroms von den Kapillaren her, weil die Venenklappen einen Rückstau hindern. Diese Pumpenwirkung fällt bei andauernder Muskelspannung weg, infolgedessen wird bei ihr der Sauerstoffvorrat des in geringerer Menge durchströmenden Blutes stärker beansprucht und ein geringes Minus an Sauerstoff im arteriellen Blut, wie es in mäßigen Höhen schon besteht, macht sich stärker geltend. Hier kommt aber noch ein anderes Moment in Betracht, dadurch gegeben, daß wir bei andauernder fester Spannung der Armmuskeln, wie sie das Halten des Steuers auch heute noch bei den meisten Flugzeugtypen bedingt, nicht ganz frei atmen können. Die von dem Brustkasten zum Oberarm ziehenden Muskeln finden an letzteren ihren Fixpunkt und infolgedessen muß der Brustkasten in relativ steter Spannung, die natürlich dem Ein- und Ausatmen hinderlich ist, gehalten werden. Nach dieser Richtung kann man sich übrigens trainieren und kann sich üben, jene unwillkürliche Hemmung der Atmung, wie sie bei straffer Haltung der Arme besonders dann leicht zustande kommt, wenn auch die Aufmerksamkeit in bestimmter Richtung angestrengt fixiert ist, zu überwinden. Es scheint mir nicht unwichtig, daß bei der Einschulung des Fliegers, der größere Höhen erreichen soll, auf diese Vermeidung von Atmungshemmungen besonders geachtet wird.

VI. Erscheinungen des Sauerstoffmangels in geringen Höhen.

Aus dem vorher Gesagten ergibt sich, daß die Erscheinungen des Sauerstoffmangels, welche in Höhen über 4000 m bei allen Menschen mehr oder weniger zutage treten, schon in geringeren leichten Störungen herbeiführen können. Wir hatten schon auseinandergesetzt, daß die Empfänglichkeit des Menschen für diese Störungen nicht nur individuell ungemein verschieden ist, sondern daß sie auch bei derselben Person stark wechselt mit Änderungen des Gesundheitszustandes, welche anderweitig kaum empfunden werden. Diese individuellen Differenzen in der Toleranz gegen die Höhenwirkung hängen, abgesehen von der Atemmechanik, in erster Linie von der Leistungsfähigkeit des Herzens ab. Wir hatten ja gesehen, daß ein geringer Sauerstoffmangel des arteriellen Blutes durch schnelleren Umlauf desselben wettgemacht werden kann. Man begreift daher, daß bei geschwächter Herztätigkeit schon in geringeren Höhen Erscheinungen des Sauerstoffmangels auftreten können. Diese Erscheinungen sind aber auch nicht immer in denselben Organen zuerst bemerkbar; speziell die Ernährungsverhältnisse des Gehirns und seine Blutversorgung wechseln, je nachdem dieses Organ ausgeruht oder überanstrengt ist, und hängen ferner ab von gewissen Giften, welche die Funktion des Hirns beeinflussen. Am auffallendsten wirkt in dieser Hinsicht der Alkohol. Wenn die erregende Wirkung dieses Genußmittels abgeklungen ist, bleibt auch nach mäßigen Gaben eine gewisse Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des Hirns, welche uns in höherem Maße in den Erscheinungen des sogenannten Katzenjammers bekannt ist. In diesem Zustande ist aber nicht nur die Leistung der Hirnzellen verringert, auch ihre Blutversorgung ist nicht eine vollkommen normale. Die Gefäßnerven, welche diese Blutversorgung vermitteln, reagieren ebenfalls nicht in normaler Weise auf die Impulse, die ihnen im Zusammenhang mit der Beanspruchung einzelner Hirnabschnitte zufließen. Durch diese Störungen der Gefäßregulation, verbunden mit dem Schwächezustand des Herzens, welcher durch die gleiche Schädlichkeit bedingt ist, kann es leicht kommen, daß schon in einer Höhe von 2000 m die Feinheit der Reaktion unseres Zentralnervensystems auf äußere Eindrücke und ebenso die Schnelligkeit dieser Reaktion vermindert ist. Auf diesem Umstande beruht eine große Gefahr für den Flieger, sobald er in größere Höhen vordringt. Wenn schon die normalen Verhältnisse des Fluges an die geistigen Kräfte und an die Schnelligkeit des Entschlusses des Fliegers die höchsten Anforderungen stellen, so wachsen diese Anforderungen natürlich, wenn er sich in großen Höhen bewegt, besonders dann, wenn diese Bewegungen nicht über Ebenen erfolgen, sondern beim Übersteigen hoher Gebirge, etwa der Alpen. Hier ist das Fliegen in großen Höhen notwendig und nach allem, was wir über den Einfluß der Gebirge auf die Luftströmungen wissen, ist es sogar notwendig, daß man sich viele Hundert Meter über dem zu überschreitenden Höchstpunkt des Gebirges in der Luft hält. Wissen wir doch, daß an den Abhängen der Bergzüge sehr starke auf- und absteigende Luftströmungen von größter Unregelmäßigkeit häufig vorkommen. Eine hierher gehörige Beobachtung, welche ich vom Gipfel des Monte Rosa, der

Margherita-Hütte, aus gemacht habe, wo Staubwolken vom Sesiatal aus innerhalb weniger Minuten mehr als 3000 m hoch bis über meinen Standort hinaus emporgewirbelt wurden, und zwar bei schönem, sonnigen Wetter, habe ich schon S. 8 erwähnt. Es ist gerade die plötzliche Erwärmung der Bergflanken durch die Sonne, welche diese unerwarteten aufsteigenden und ähnlich natürlich auf der anderen Seite des Berges absteigenden Windstöße zustande kommen läßt. Es erscheint kaum denkbar, daß die Steuerkunst auch eines geübten Fliegers einem derartigen plötzlichen Windanprall stand hält. Er muß daher beim Übersteigen der Gebirge so hoch wie möglich über dem Kamme sich befinden. Damit aber kommt er in Regionen, in welchen der Sauerstoffmangel sich schon erheblich geltend macht, d. h. mit anderen Worten, seine körperliche und geistige Leistungsfähigkeit ist vermindert gerade in dem Moment, wo die höchsten Anforderungen an dieselbe gestellt werden. Die Gefahr solcher Störungen ist um so größer, je schneller man aus mäßigen Höhen bis zu 3000 m und mehr emporsteigt. Das lehren unter anderem die Erfahrungen, welche man auf den Bergbahnen gemacht hat, verglichen mit dem, was man beim Wandern auf die Bergeshöhen beobachtet. In Höhen, wo der Fußgänger fast niemals irgendwelche Störungen empfindet (2500—3000 m), findet man unter den Reisenden der Bergbahnen schon eine ganze Menge Bergkranker. Das liegt keineswegs allein daran, daß mit den Bahnen auch schwächlichere Personen, denen das Klettern unmöglich ist, in bedeutende Höhen gelangen, vielmehr beobachtet man auch an solchen Menschen, welche bei Fußwanderungen niemals in solchen Höhen bergkrank gewesen sind, auf der Zahnradbahn Erscheinungen von Schwäche, Schwindel und Übelkeit, die sich meist schon dadurch als Höhenkrankheitssymptome dokumentieren, daß sie schnell schwinden, wenn man durch eine Anzahl tiefer Atemzüge willkürlich den Sauerstoffgehalt des Blutes erhöht. Die Gefahr des Eintritts derartiger durch Sauerstoffmangel im Hirn bedingter Funktionsstörungen wird beim Flieger noch dadurch erhöht, daß man bei gespannter Aufmerksamkeit auf irgend ein wichtiges Moment, etwa beim Beobachten des Ganges der Maschine, leicht vorübergehend das Atmen vergißt, oder richtiger gesagt, die Atmung hemmt. Diese Hemmung, welche bei hohem Luftdruck vollkommen ungefährlich ist, weil sie von selbst rechtzeitig durch Einsetzen tiefer Atemzüge unterbrochen wird, kann in einer Höhe von 3000 m und mehr direkt verhängnisvoll werden, indem sie jenen Zustand der Ernährungsstörung im Hirn herbeiführt, welcher zu unzweckmäßigem Handeln und damit eventuell zu einem tödlichen Absturz führt.

Von eigenen Erfahrungen, welche die Bedeutung des Sauerstoffmangels schon in mäßigen Höhen illustrieren, möchte ich eine Beobachtung anführen, welche wir beim Aufenthalt in den Cañadas des Pic von Teneriffa vor zwei Jahren machen konnten. Einer unserer Mitarbeiter, Dr. Douglas, beschäftigte sich bei Prüfung des Einflusses der Höhe auf die Blutbildung mit Farbenvergleichen, indem die Farbe einer verdünnten Blutlösung mit der eines künstlichen Gemisches von Blut und Karminlösung sehr genau verglichen werden mußte. Während er in der Ebene diese Farbenvergleiche mit großer Präzision anstellen konnte, erwies sich in der Höhe unter sonst gleichen Bedingungen der Fehler erheblich größer. Andere Erfahrungen der Art, die sich allerdings auf wesentlich größere Höhen beziehen,

hat von Schrötter in seiner Abhandlung „Der Sauerstoff in der Prophylaxe und Therapie der Luftdruckerkrankungen“¹⁾ mitgeteilt. Er gibt dort S. 239 ein Faksimile seiner Handschrift, wie sie in großer Höhe sich gestaltet, verglichen mit seiner schönen, klaren Schrift unter normalen Verhältnissen. Man sieht bei Betrachtung dieser Schriftzüge, in wie hohem Maße die Beherrschung der feineren Bewegungsverhältnisse der Hand und des Armes, welche beim Schreiben erforderlich sind, unter Wirkung der Höhe gelitten hat. Man sieht aber noch ein zweites, daß nämlich auch die Präzision des Ausdrucks in der Schilderung der Beobachtungen wesentlich geringer wird als unter höherem Luftdruck. In den extremsten Fällen führen diese Störungen der Sauerstoffversorgung des Hirns zum vollständigen Ausfall einzelner Hirnfunktionen. So haben Luftfahrer wiederholt bemerkt, daß sie plötzlich in großer Höhe die Skala ihrer Thermometer nicht mehr sehen konnten. Von diesem Zustand bis zum vollständigen Schwinden des Bewußtseins ist natürlich nur noch ein ganz kleiner Schritt. Wenn schon in der Ebene bei geschwächter Herzstätigkeit infolge vorangegangener Überanstrengung oder der anderen erwähnten Umstände es gelegentlich selbst bei kräftigen Menschen vorkommen kann, daß sie bei plötzlichen Aufstehen aus der liegenden oder sitzenden Stellung das Bewußtsein verlieren, ohnmächtig werden, so ist diese Gefahr um so größer, in je dünnerer Luft man sich befindet.

Ich möchte noch ein Beispiel jener ganz leichten und doch unter Umständen gerade für den Flieger verhängnisvollen Störung der Hirnfunktionen anführen, welche wir bei unserem Aufenthalt auf dem Monte Rosa beobachteten. Ein Mitglied unserer Expedition, C., ein recht geübter Bergsteiger, litt während unseres Aufenthaltes mehr oder weniger ausgesprochen an den Erscheinungen der Bergkrankheit. Wir machten eines Tages einen Abstieg von der Gipfelhütte zu dem etwa 70 m tiefer gelegenen großen Hochplateau. Dabei passierte man längs der Randkluft, welche den Eisabhang des Gipfels von dem großen Firnfeld trennt. Um einem kleinen Hindernis im Wege auszuweichen, machte C. einen Sprung zur Seite, aber nicht, wie das eigentlich instinktiv jeder mit den Verhältnissen Vertraute getan haben würde, nach der Bergseite, sondern direkt in die Randkluft hinein, so daß er verloren gewesen wäre, wenn er nicht von den hinter ihm Gehenden am Seile gehalten worden wäre. Ich erwähne diesen Fall, weil er die Gefahren, denen der Luftfahrer, der fortwährend rasche Entschlüsse zu fassen hat, in solchen Höhen ausgesetzt ist, besonders deutlich illustriert.

VII. Sauerstoffatmung als Mittel zur Erreichung größerer Höhen.

Die Tatsache, daß die Beschwerden der Höhe, speziell die Eingenommenheit des Kopfes, die Abschwächung der Sinnesfunktionen und die Erlahmung der Muskelkräfte schwinden, wenn man Sauerstoff atmet, steht über allem Zweifel fest. In Höhen von 4000—8000 m etwa bedarf es hierbei nicht einmal besonderer Kautelen, welche den Lungen reinen Sauerstoff sichern. Es genügt, den Partialdruck dieses

¹⁾ Handbuch der Sauerstofftherapie von Max Michaelis, Berlin 1906, S. 155—314.

Gases in den Lungen nennenswert zu erhöhen, um sofort alle Erscheinungen zu beseitigen. Dementsprechend genügen in diesen Höhen die relativ primitiven Hilfsmittel, deren sich die Luftfahrer bis vor kurzem allgemein bedienten. Noch auf der Rekordhöhenfahrt von Berson und Süring benutzten diese eine einfache, mit der Sauerstoffbombe verbundene Hartgummiröhre, welche sie in den Mund nahmen und etwa wie eine Pfeife handhabten. Hierbei gelangte je nach der Weite der Öffnung der Sauerstoffbombe mehr oder weniger Sauerstoff bei der Einatmung in die Lungen, gemischt mit Luft, welche gleichzeitig durch die Nase eindrang. Dieses Verfahren ist darum recht unzuverlässig, weil ja meist die Symptome des Sauerstoffmangels sich nicht in unangenehmer und zur Abhilfe drängender Weise offenbaren. Oft kann das Bewußtsein plötzlich schwinden, ohne daß Vorboten zu verstärkter Sauerstoffzufuhr gemahnt hätten. Mit dem Eintritt von Bewußtlosigkeit oder selbst von Halbschlaf aber kann das Mundstück gänzlich den Lippen entgleiten, und damit ist unter Umständen der Tod des Luftfahrers besiegelt. Man muß deshalb für Höhenfahrten über 8000 m darauf bestehen, daß eine festsitzende Verbindung der Atemwege mit der Sauerstoffquelle bestehe. Als solche kann man die Mundstücke benutzen, wie ich und meine Mitarbeiter sie seit vielen Jahren bei Respirationsversuchen anwenden. Zwischen Lippen und Zähnen befindet sich eine weiche Gummiplatte, die in der Mitte durchbohrt ist und eine Röhre trägt, die die Verbindung mit der Sauerstoffquelle vermittelt. Das Mundstück wird schon durch die Elastizität der Lippen und die Mundfeuchtigkeit luftdicht festgehalten. Man kann es aber noch weiter sichern, indem man eine vorn geschlitzte elastische Binde, etwa nach Art der Bartbinden, über die Lippen legt und am Hinterkopf zuschnürt. Die Nase ist durch eine Klemme hermetisch verschlossen. Auf diese Weise erfolgt die Atmung zwar nicht in ganz normaler Weise, da die Nase ausgeschlossen ist, aber doch in einer Art, welche von den meisten Menschen standstillig stundenlang ertragen wird. In gewisser Hinsicht noch bequemer wird die Atmung, wenn man eine gut schließende, der individuellen Gesichtsform angepaßte Maske, welche Mund und Nase bedeckt, anlegt. Eine solche Maske trägt zweckmäßig am Rande eine Art Pneumatik, durch welche die feste Anpassung an das Gesicht erleichtert und der Druck der Ränder gemildert wird. Man hat solche Masken aus Metall und aus Hartgummi angefertigt. Zu ihrer sicheren Befestigung dienen wiederum Bänder, welche am Hinterkopf zugeschnürt werden. Man kann auch, wie dies Fleming in jüngster Zeit getan hat, die Maske mit der Mütze zu einem Ganzen verbinden und dadurch ihre Last gewissermaßen durch den ganzen Kopf tragen lassen. Ich habe keine praktische Erfahrung, um beurteilen zu können, ob diese Einrichtung Vorzüge vor dem einfachen Anbinden der Maske besitzt. Die Maske muß natürlich zwei Öffnungen haben., für den eintretenden Sauerstoff und für die Ausatemungsluft. Beide Wege, auf alle Fälle aber die Austrittsöffnung müssen mit Ventilen versehen sein. Als Austrittsventil dient zweckmäßig eine kurze Metallröhre, welche durch eine aufgeschliffene, bewegliche Metallplatte verschlossen ist. Die Platte wird durch schwachen Druck einer Feder angedrückt und öffnet sich, sobald im Innern der Maske geringer Überdruck durch die Ausatmung erzeugt wird. Von großer Wichtigkeit ist die Kapazität der Maske. Da ein Teil der ausgeatmeten Luft in dieser zurückbleibt und bei der nächsten Ein-

atmung wieder in die Lungen zurückgelangt, vergrößert die Maske den „schädlichen Raum“ der Luftwege, über welchen wir S. 44 sprachen. Die Wirkung einer solchen Vergrößerung des schädlichen Raumes ist aber bei der Sauerstoffatmung eine etwas andere als bei der gewöhnlichen Zusammensetzung der Atemluft. Bei letzterer hat die im schädlichen Raum zurückbleibende Expirationsluft einen Sauerstoffgehalt von 14—15 %, der in extremen Fällen, d. h. bei geringem Atemvolumen und oberflächlicher Atmung bis auf 10 % herunter gehen kann. Besteht nun der größte Teil der neuen Einatmung aus dieser Luft, so wird natürlich der Sauerstoffgehalt in den Alveolen alsbald auf einen bedenklichen Wert herabsinken. Atmen wir dagegen eine sehr sauerstoffreiche Luft, so wird bei gleichem prozentischen Verbrauch in den Lungen der Sauerstoffgehalt der Luft im schädlichen Raum noch immer 50 % betragen, wenn die Einatemluft etwa 60 % hatte. Es darf also ohne erhebliche Beeinträchtigung der Sauerstoffversorgung Luft wiederholt geatmet werden; natürlich wächst unter diesen Umständen der Kohlensäuregehalt der eingeatmeten Luft. Das ist aber nicht unbedingt ein Nachteil, denn jede Erhöhung der Kohlensäurespannung in der Atemluft führt zu Vertiefung der Atmung und damit wiederum zu einer Verminderung des Anteils des schädlichen Raumes am Gesamtvolumen eines Atemzuges, d. h. also zu einer Verbesserung der aus der Maske eingeatmeten Luft. Da wir früher gesehen haben, daß eine Vertiefung der Atmung gerade bei beginnendem Sauerstoffmangel erwünscht ist und den Erscheinungen des Sauerstoffmangels abhelfen kann, ist die durch die Maske bewirkte Erhöhung der Kohlensäurespannung in der Lungenluft zweckmäßig, so lange sie eine gewisse Grenze nicht überschreitet. Als höchste zulässige Kapazität der Maske möchte ich etwa 160 ccm bezeichnen. Es beträgt dann der gesamte schädliche Raum ca. 300 ccm, so daß bei einer Atemtiefe von 500 ccm, wie sie den meisten Menschen zukommt, immer noch 200 ccm frisch zuströmenden Sauerstoffs in die Alveolen gelangen.

Von wesentlicher Bedeutung ist auch die zweckmäßige Regulation des Zustromes von Sauerstoff zur Maske. Man benutzt hierzu jetzt fast allgemein die Zwischenschaltung eines Gummisackes zwischen Sauerstoffbombe und Atemmaske. In der Tat sichert ein solcher Sack, wenn man ihn ständig in einem Zustand mittlerer Füllung hält, die nötige Sauerstoffzufuhr, auch wenn aus irgend einem Grunde einzelne Atemzüge besonders vertieft werden, und er vermeidet es andererseits, daß der Sauerstoff unter Überdruck der Maske zuströmt, was ein nutzloses Entweichen desselben durch das Ausatmungsventil zur Folge haben würde. Zwischen die Sauerstoffbombe und den Gummisack pflegt man allgemein ein Reduzierventil einzuschalten, durch welches eine bequeme Dosierung der ausströmenden Sauerstoffmenge ermöglicht ist. Das Reduzierventil hat aber auch einen Nachteil. Es nimmt ziemlich viel Raum ein und beengt dadurch, besonders wenn bei mehreren Mitreisenden etwa drei Sauerstoffbomben gleichzeitig in Tätigkeit sind, den ohnehin knappen Raum in der Gondel. Man ist übrigens auch bei Benutzung eines solchen Ventils nicht der Mühe enthoben, in kurzen Zwischenräumen den Sauerstoffstrom aus der Bombe zu regulieren. Einmal weil das Atembedürfnis wechselt, namentlich nach jeder körperlichen Anstrengung, wie etwa Ballastauswerfen, sehr erheblich gesteigert ist, und andererseits weil der Sauerstoffstrom bei der allmählichen Abnahme des Drucks in der Bombe nachläßt. Ich finde es deshalb nach zahlreichen



Erfahrungen bei der Sauerstoffzufuhr zu meiner Respirationskammer zweckmäßiger, auf das Reduzierventil zu verzichten und dafür die Öffnung der Bombe, statt durch das kleine Rad, welches auf dem Kopfe der Bombe angebracht ist, durch einen etwa 15 cm langen Hebel, den man sehr bequem an Stelle dieses Rades aufschrauben kann, zu bewirken. Mit Hilfe eines solchen Hebels läßt sich der Austritt des Sauerstoffs aus der Bombe aufs feinste regulieren. Diese Regulation hat so zu geschehen, daß der Sack immer zu etwa $\frac{2}{3}$ gefüllt bleibt.

Die Menge des für eine Fahrt mitzunehmenden Sauerstoffs ergibt sich leicht aus der normalen Atemgröße des Menschen. Diese beträgt in absoluter Ruhe im Durchschnitt etwa 5 Liter pro Minute. Man wird bei dem leichten Grade von Bewegungen, die der Ballonfahrer zum Zwecke seiner Beobachtungen im allgemeinen nur auszuführen hat, kaum mehr als 7 Liter als Durchschnittsbedarf zu rechnen haben. Das wäre also pro Stunde ein Verbrauch von 420 Liter, so daß man mit einer gewöhnlichen 1200 Liter fassenden Bombe für knapp drei Stunden versorgt wäre. Eine längere Zeit dürfte man kaum in Höhen von 7000 m und darüber verweilen. Immerhin bleibt es unbedingt notwendig, daß der Ballonfahrer, ebenso wie er auf seinen Ballastvorrat für die künftige Landung achtet und diese nicht unter eine gewisse Grenze sinken lassen darf, so auch auf alle Fälle sorgen muß, daß er mit seinem Sauerstoffvorrat ausreicht, bis er wieder unter 6000 m Höhe abgesunken ist. Es ist deshalb auf alle Fälle erwünscht, an der Bombe ein Manometer zu haben, welches uns in jedem Moment über den noch vorhandenen Sauerstoffvorrat unterrichtet. — Der oben angenommene Verbrauch von 7 Liter Sauerstoff pro Minute ist allerdings bei einigermaßen dicht schließenden Leitungen und gut anliegender Maske oder Mundstück ein Maximum. Es nimmt ja das Atemvolumen in der Höhe, wie alle unsere Hochgebirgsversuche gezeigt haben, zu, aber im allgemeinen in geringerem Maße als die Verdünnung der Luft. Das auf normalen Druck reduzierte Atemvolumen ist also in der Höhe der Regel nach etwas geringer als im Meeresniveau. In unseren Versuchen und denen der anderen im Hochgebirge tätigen Forscher kam nur ausnahmsweise der Fall vor, daß das reduzierte Atemvolumen in der Höhe dem im Meeresniveau gleichkam oder es gar übertraf. So reicht also der angenommene Durchschnittsbedarf von 7 Liter auch noch für die gelegentlich des Ballastwerfens oder ähnlicher Arbeiten nötigen Anstrengungen aus.

VIII. Berechnung der höchsten erreichbaren Höhen.

Wenn es sich darum handelt, maximale Höhen mit Hilfe der Sauerstoffatmung zu erreichen, müssen noch gewisse Kautelen beachtet werden, die man bisher wohl nicht genügend klargestellt hat. Das Wesentliche bleibt ja, daß eine zur Deckung des Sauerstoffbedarfs ausreichende Dichte dieses Gases in den Lungenalveolen bestehe. Diese Dichte hängt außer vom absoluten Luftdruck von der Menge anderer Gase ab, die dem Sauerstoff in den Lungenalveolen beigemischt sind. Hier haben wir stets bei der Körpertemperatur von ca. 37° eine Wasserdampfspannung von 46 mm. Die Kohlensäurespannung wechselt in weiteren Grenzen. Sie ist ja im allgemeinen niedriger als auf der Erde, wenn wir in Höhen von 4000 m und darüber ge-

wöhnliche Luft atmen. Wir haben oben schon auseinandergesetzt, daß dies seinen Grund darin hat, daß in solchen Höhen der in einzelnen Organen bereits wirksame Mangel an Sauerstoff zur Bildung von Milchsäure und damit zu einem neuen Atemreiz Anlaß gibt, welcher die Lungenventilation verstärkt und dadurch naturgemäß den Prozentgehalt der Lungenluft an Kohlensäure herabmindert. Mit dieser Minderung dürfen wir natürlich nicht rechnen, wenn wir reinen Sauerstoff atmen, und wir werden überhaupt im allgemeinen mit dem Maximum an Kohlensäure rechnen müssen, wenn wir Gefahren ausschließen wollen. Wir können dann, solange stärkere Muskeltätigkeit vermieden wird, annehmen, daß in der Minute 250 ccm Kohlensäure (reduziert auf 0° und 760 mm) ausgeschieden werden. Das würde bei 5 Liter Lungenventilation im Liter 50 ccm von 0°, also etwa 57 ccm bei 37° C ausmachen. Das bedeutet aber eine Gasspannung von 43,3 mm. Die so berechnete Spannung ist sicher ein Maximalwert, denn sie übertrifft die höchste praktisch beobachtete nicht unerheblich. Es kommt nun aber nicht auf die Kohlendioxidspannung in der Expirationsluft, sondern auf die höhere in den Lungenbläschen an. Diese ergibt sich aus der Erwägung, daß bei jedem Atemzug der Inhalt des schädlichen Raumes als nahezu unveränderte atmosphärische Luft ausgeatmet wird, daß also bei einem Menschen, dessen schädlicher Raum 140 ccm beträgt, die ganze ausgeatmete Kohlensäure in den Lungenbläschen in einem Luftraum enthalten war, der um 140 ccm kleiner ist als das Volumen der Expiration. Wir wollen nun für verschiedene Formen der Atemmechanik, die sich aus dieser Erwägung ergebende Kohlendioxidspannung in den Lungenalveolen berechnen. Jener vorher angenommene Fall, daß in der Ausatemluft eine Kohlendioxidspannung von 43,3 mm herrscht, stellt sicher ein Extrem dar. Praktisch wird sich bei so hohem Kohlendioxidgehalt automatisch die Atmung verstärken und infolgedessen die Kohlendioxidspannung herabgehen. Wenn wir aber mit jenem extremen Fall rechnen, und um nach jeder Richtung die Bedingungen ungünstig zu machen, annehmen, daß die 5 Liter Minutenventilation sich auf 10 Atemzüge verteilen, dann hätten wir in diesen 5 Litern $10 \times 140 \text{ ccm} = 1,4 \text{ Liter}$ Luft des schädlichen Raumes. Es wäre also die Kohlensäure welche in 5 Litern 43,3 mm Spannung hat in 3,6 Liter Alveolenluft enthalten. In dieser würde also die Spannung betragen

$$\frac{43,3 \cdot 5}{3,6} = 60,1 \text{ mm.}$$

In den umfänglichen Untersuchungen, welche ich selbst und meine Mitarbeiter und später Durig über die Kohlendioxidspannung in den Lungenbläschen bei Aufenthalt in verschiedenen Höhen angestellt haben, wurde als Maximum in der Ebene eine Spannung von 36 mm gefunden, in größeren Höhen ging dieselbe bis auf 20—25 mm zurück. Das bezieht sich allerdings auf den Zustand absoluter Ruhe und niedriger Sauerstofftension in der Atemluft. Bei größerer Muskelanstrengung nimmt im allgemeinen die Lungenventilation so stark zu, daß die Kohlendioxidspannung in der Ebene meist nur wenig erhöht, in der verdünnten Luft des Hochgebirges sogar etwas herabgesetzt ist.

Wir wollen nun für jene faktisch wohl niemals vorkommende maximale Spannung von 60,1 mm und weiter für die den tatsächlichen Verhältnissen entsprechende,

aus unseren zahlreichen Erfahrungen abgeleiteten, wohl allein in Betracht kommenden Spannungen von 36 und 25 mm die erreichbaren Höhen berechnen. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß der zur Atmung zur Verfügung stehende Sauerstoff niemals absolut rein ist. Wir finden durchschnittlich im Sauerstoff der käuflichen Bomben 3—4 % Stickstoff, haben aber auch gelegentlich schon Bomben mit einem Gehalt von 7 und 8 % Stickstoff gefunden. Es erscheint deshalb nötig bei Rekordfahrten, die bis zu maximaler Höhe gehen sollen, den Sauerstoffgehalt der zu benützenden Bomben analytisch festzustellen, und eine stärkere Beimengung als 3 % Stickstoff nicht zuzulassen. Aber selbst dann, wenn man sich für eine Höhenfahrt ganz reinen Sauerstoff verschaffen würde, wäre es doch nicht zu vermeiden, daß in den Lungenbläschen dauernd ein geringer Stickstoffgehalt sich findet, und zwar aus zwei Gründen. Einmal hat unser Körper, in den verschiedenen Geweben gelöst, nicht unerhebliche Mengen von Stickstoff vorrätig. Sind es doch diese Stickstoffmengen, welche nach mehrstündigem Aufenthalt in komprimierter Luft sich derartig anhäufen, daß sie nach der Rückkehr unter normalen Druck die das Leben bedrohende Entwicklung von Gasblasen im Blute und im Gewebe des Nervensystems hervorrufen. Wir können den Gesamtvorrat des menschlichen Körpers an gasförmig absorbiertem Stickstoff unter normalen Bedingungen, je nachdem der Organismus magerer oder fettreich ist, auf 2000—2500 ccm schätzen. Ein fettreicher Organismus beherbergt erheblich mehr Stickstoff, weil Fett einen etwa 5 mal größeren Absorptionskoeffizienten für dieses Gas hat als Wasser. Dazu kommt ein individuell wechselnder Vorrat an Stickstoff in den Darmgasen, der bis zu 500 ccm betragen kann. Wenn wir nun reinen Sauerstoff atmen, gibt zwar das Blut in den Lungenalveolen fast momentan den größten Teil seines Stickstoffs an den Sauerstoff, der die Lungenbläschen erfüllt, ab, aber in den Geweben sättigt es sich aufs neue mit Stickstoff, so daß immer wieder eine beträchtliche Stickstoffmenge an die Luft der Lungenbläschen abgegeben wird. Wir dürfen, gestützt besonders auf die exakten Messungen von A. Bornstein in Hamburg, annehmen, daß erst nach etwa einer Stunde der größte Teil des im Körper vorrätigen Stickstoffs an die Lungenluft abgegeben ist. Rechnen wir nun, daß in dieser Stunde 300 Liter Sauerstoff geatmet worden sind, und daß sich der Stickstoff des Körpers auf dieses Gas gleichmäßig verteilt hätte, so ergibt sich bei einem maximalen Stickstoffvorrat von 3000 ccm durchschnittlich 1 % Stickstoff im Lungengas. Faktisch vollzieht sich ja die Stickstoffabgabe des Körpers nach einer asymptotisch der Abszisse sich nähernden Kurve. In der ersten Zeit wird viel, dann progressiv immer weniger Stickstoff der Lungenluft beigemischt. Wir werden also darauf rechnen dürfen, daß ein Luftfahrer, der etwa in einer Höhe von 6000 m mit der Sauerstoffatmung beginnt, wenn er nach einer Stunde eine Höhe von 10 000 m erreicht hat, nur noch sehr geringe Mengen Stickstoff in seinen Geweben hat, also der Luft seiner Lungenbläschen auch nur sehr wenig von diesem Gas beimischt. Ganz aber wird diese Stickstoffbeimengung zur Lungenluft überhaupt nicht aufhören, denn die äußere Haut nimmt in Berührung mit der Atmosphäre ständig aus dieser Stickstoff auf und gibt ihn an das zirkulierende Blut ab. Es findet, wie bekannt, bei Menschen und Tieren eine Hautatmung statt, welche unter normalen Verhältnissen zu einer Abgabe von Kohlensäure und zu

einer Aufnahme von Sauerstoff führt. Stickstoff wird für gewöhnlich durch die Haut nicht aufgenommen, weil die Spannung dieses Gases im Blut ebenso hoch ist wie in der an die Haut angrenzenden Luftschicht. Das ändert sich aber, sobald durch die Atmung reinen Sauerstoffs die Stickstofftension im Blut auf einen minimalen Wert reduziert ist. Jetzt nimmt die Haut ständig Stickstoff auf, und dieser Stickstoff wird in den Lungen an die Alveolenluft wieder abgegeben. Der Umfang dieser Stickstoffwanderung nach den Lungen läßt sich auf Grund der Versuche, welche Franchini und Preti¹⁾ in meinem Laboratorium ausgeführt haben, annähernd abschätzen.

Die direkt bestimmte Sauerstoffaufnahme durch die Haut betrug bei einer Temperatur der Haut von 36° C und einer als Triebkraft wirkenden Konzentrationsdifferenz von 81,5 Volumprozent 1,25 l pro Stunde. Nun verhalten sich nach Hüfner die Diffusionskoeffizienten von Sauerstoff und Stickstoff wie 1,67 : 1,79. Es würden also bei gleicher Konzentrationsdifferenz in der Stunde 1,34 l Stickstoff ins Blut eintreten, um in der Lunge wieder ausgeschieden zu werden. Da die Konzentrationsdifferenz zwischen dem Stickstoffgehalte der Atmosphäre und dem der mit Sauerstoff gefüllten Lungenalveolen auf 77 % anzuschlagen ist, vermindert sich diese Zahl im Verhältnis $\frac{77}{81.5}$ auf 1,29 l pro Stunde. Bei 600 l Lungenventilation in der Stunde ergibt dies eine Erhöhung des Stickstoffgehalts in der Expirationsluft um 0,22 %, also in der Alveolenluft um etwa 0,3 %. Das wäre bei 250 mm Luftdruck ein Partiardruck von 0,75 mm.

Ein Stickstoffgehalt des Bombengases von 3 % würde bei 250 mm Barometerstand einen Partiardruck von 7,5 mm ergeben. Durch die Zumischung des Wasserdampfs und der Kohlensäure wird dieser in den Lungenalveolen etwa auf die Hälfte herabgedrückt. Wir müssen deshalb damit rechnen, daß durch die gesamten Umstände, d. h. durch die unvermeidliche Verunreinigung des geatmeten Sauerstoffs mit Stickstoff und durch die ständige Zufuhr von Stickstoff zu den Lungenalveolen von seiten des Blutes, die Stickstofftension in der Lungenluft wenigstens 4 mm beträgt. Wir hätten dann also 46 mm Wasserdampfspannung, 60 mm Kohlensäure, 4 mm Stickstoff und müssen ferner verlangen, daß behufs ausreichender Sättigung des Blutes mit Sauerstoff die Tension dieses Gases wenigstens 40 mm beträgt. Wir kommen so zu einer Gesamtspannung von 150 mm, d. h. die äußerste Höhe, die wir unter diesen Umständen ohne Gefahr erreichen können, wäre die, in welcher der Luftdruck 150 mm beträgt, d. h. eine Höhe von 13 000 m. Wir haben hier extrem hohe Kohlensäurewerte in der Alveolenluft angenommen. Faktisch wird sich in der Höhe die Ventilation stets verstärken, man wird nicht mit 5000 ccm Sauerstoff per Min. auskommen, sondern wird unter dem Reize der Kohlensäure und der Produkte des Sauerstoffmangels erheblich stärker atmen, wenigstens 7000—9000 ccm Sauerstoff per Minute. Dann aber mindert sich die Kohlensäure-tension in den Lungenalveolen, und man kann dementsprechend mit der Möglichkeit noch in größeren Höhen ausreichend mit Sauerstoff versorgt zu sein, rechnen. Wenn wir annehmen, daß der Kohlensäuregehalt der Alveolen nicht über den höchsten Wert ansteigt, der in den Versuchen von Durig und seinen Mitarbeitern beobachtet wurde, das sind 36 mm, dann würden wir für die gesamte Gasspannung in den Lungenalveolen haben:

¹⁾ G. Franchini und L. Preti, Über Hautatmung III. Bioch. Zeitschrift 9, S. 442.

36 mm	Kohlensäure,
46 „	Wasserdampf,
4 „	Stickstoff,
40 „	Sauerstoff

126 mm, das entspricht einer Höhe von 14300 m, wohl das Maximum, das bei Atmung möglichst reinen Sauerstoffs im Ballon erreicht werden kann.

Bei den vorstehenden Rechnungen ist aber stets vorausgesetzt worden, daß der schädliche Raum nicht mehr als 140 ccm betrage. Wenn wir statt des Mundstücks die vorher besprochene Maske benutzen, wird aber der schädliche Raum wesentlich größer. Will man unter diesen Umständen die erreichbare Höhe berechnen, so muß man den Inhalt der Maske dem durch den Bau der Atemwege gegebenen schädlichen Raum von 140 ccm addieren und wird nunmehr, namentlich bei solchen Personen, welche gewohnheitsmäßig nicht sehr tief atmen, die Höhengrenze wesentlich niedriger finden. Wir wollen die Rechnung durchführen für eine Maske von 150 ccm Inhalt.

Der gesamte schädliche Raum beträgt nun 290 ccm, der Unterschied im Kohlensäuregehalt der Expirationsluft und der Alveolenluft wird ein sehr erheblicher. Die hohe Kohlensäurespannung in den Alveolen führt dann naturgemäß zu einer verstärkten Lungenventilation, was wiederum eine Vergrößerung des Sauerstoffverbrauchs bedeutet. Wir werden bei Anwendung einer derartigen Maske sicher niemals weniger als 8 Liter in der Minute atmen, wahrscheinlich noch erheblich größere Luftmengen. Bei einer Atemtiefe von 500 ccm würden also 16 Atemzüge gemacht werden, wobei 16 mal 290 = 4640 ccm Luft auf den schädlichen Raum und 3360 auf die Lungenalveolen kommen. Eine Minutenmenge von 250 ccm, oder auf Körpertemperatur reduziert von 285 ccm Kohlensäure würde auf diese 3360 ccm verteilt, einen Prozentgehalt von 8,49 oder einen Partialdruck von 64,5 mm ausmachen. Wir haben nun als Grenzwerte der zulässigen Gesamtspannung 64,5 + 46 + 40 + 4 = 154,5 mm = 12 705 m Höhe. Es beschränkt also die Maske durch den unvermeidlichen schädlichen Raum die erreichbare Höhe nicht unerheblich, und man wird bei dem Bestreben, einen Höhenrekord zu erreichen, die Unbequemlichkeit der Mundstückatmung in den Kauf nehmen müssen.

Man wird aus dem vorher Gesagten erkennen, wie sorgfältig alle Einzelheiten des Atemapparats und der Sauerstoffzufuhr geprüft sein müssen, wenn man ohne Lebensgefahr die Höhengrenze von 12 000 m übersteigen will. Es dürfte sich am meisten empfehlen, in solchen Fällen vorher die ganze Apparatur in einer Luftkammer, in welcher man durch Maschinenkraft entsprechende Verdünnungen herstellt, zu prüfen. Derartige Luftkammern befinden sich im sogenannten pneumatischen Kabinett des Berliner jüdischen Krankenhauses und wurden hier von Berson, Süring und von Schrötter vor Antritt ihrer Höhenfahrten benutzt. Leider reicht die Kraft der Luftpumpen hier nicht aus, um Verdünnungen bis zu 126 mm, wie wir sie als theoretisch möglich bei Mundstückatmung berechnet haben, zu erzielen. Ob andere ähnliche Einrichtungen, wie die des Physiologischen Instituts in Turin und die des Lister Instituts in London, so weitgehende Verdünnungen ermöglichen, ist mir nicht genau bekannt.

Ich sagte schon vorher, daß sehr genaue Prüfungen des Sauerstoffs auf seine Reinheit notwendig sind. Diese Prüfung sollte sich aber nicht nur auf den beigemengten Stickstoff beziehen, vielmehr mit besonderer Sorgfalt noch darauf, ob etwa Spuren von Kohlenoxyd dem Sauerstoff beigemischt sind. Ich habe vor Jahren einmal eine Sauerstoffbombe in Händen gehabt, in deren Luft sich über $\frac{1}{10}$ % Kohlenoxyd befand. Ein solcher Sauerstoff würde ja, wenn wir ihn auf der Erde atmen, keine merklichen Gesundheitsstörungen herbeiführen, denn, da die Affinität des Kohlenoxyds zum Hämoglobin 150 mal größer ist als die des Sauerstoffs, würde bei Einatmung dieses Gasgemisches, da ja die Spannung des Sauerstoffs bei 95 % Gehalt 950 mal größer wäre als die von 0,10 % Kohlenoxyd, höchstens $\frac{1}{6}$ des ganzen Hämoglobin durch Kohlenoxyd in Beschlag genommen werden. Das bedeutet, wie gesagt, auf der Erdoberfläche keine Lebensgefahr, würde aber die erreichbare Höhe im Ballon ganz enorm herabdrücken, resp. würde in einer Höhe, in welcher bei Atmung reinen Sauerstoffs noch gar keine Gefahr droht, schwere Erscheinungen von Sauerstoffmangel, vielleicht den Tod herbeiführen.

Es ist noch eine andere Methode der Sauerstoffatmung als Ersatz der schweren und dadurch die Steigkraft des Ballons beeinträchtigenden Bomben vorgeschlagen worden. Cailletet, der berühmte Entdecker der Verflüssigung der Luft, hat vorgeschlagen, flüssigen Sauerstoff in Dewarschen Flaschen mit in die Höhe zu nehmen und den sich in diesen Flaschen ständig entwickelnden Sauerstoff zu atmen. Der Vorschlag wurde dann noch etwas vereinfacht durch Erdmann, welcher flüssigen Sauerstoff einfach in Kautschukbeuteln den Luftschiffern mitgab. Ich selbst hatte Gelegenheit, der Vorbereitung einer Hochfahrt von v. Schrötter beizuwohnen, für welche ein Sauerstoffvorrat in dieser Form mitgenommen wurde. Die Schwierigkeit dieser Art der Sauerstoffversorgung liegt darin, daß man die Verdampfung des flüssigen Sauerstoffs schwer regeln kann. Infolge der stetig abnehmenden Temperatur in größeren Höhen ist die Gefahr vorhanden, daß die Verdampfung des Sauerstoffs um so mehr abnimmt, je höher man kommt, je größer das Bedürfnis nach reinem Sauerstoff ist. Da die Verdampfung des reinen Sauerstoffs niemals so fein zu regeln ist wie etwa das Ausströmen des Gases aus dem Ventil der Flasche, wird man immer in die Notwendigkeit versetzt sein, der Luft Zutritt zu dem Sauerstoffreservoir zu gewähren. Man wird also in sehr wechselndem Maße mit atmosphärischer Luft, d. h. mit Stickstoff verdünnte Sauerstoffmischungen einatmen. Infolgedessen ist die Höhe, welche man erreichen kann, garnicht im voraus zu berechnen. Denkbar wäre es, die Methode etwa dadurch zu vervollkommen, daß man eine regulierbare Heizung des mit flüssigen Sauerstoff gefüllten Gefäßes vorsieht. Eine solche Heizung könnte ungefährlich etwa auf thermo-elektrischem Wege erfolgen, indem man in dem Sauerstoffbehälter eine Widerstandsspirale anbrächte, durch die man einen dosierbaren Strom aus Akkumulatoren hindurchleitet. Es müßte dann das Sauerstoffreservoir mit einem größeren Kautschukbeutel, in dem sich das Sauerstoffgas ansammelt und aus welchem die Atmung erfolgt, verbunden sein. Durch Regulation der Heizung wäre dafür zu sorgen, daß der Kautschukbeutel stets ausreichend mit Sauerstoffgas gefüllt wäre. Einstweilen möchte ich glauben, daß die ständige Aufmerksamkeit, welche die Regulation der Verdampfung des Sauerstoffs erfordert, mit der geringen Ersparnis an Gewicht zu teuer erkauft wäre. Die zur Lieferung

der nötigen Wärme mitzunehmenden Akkumulatoren würden nicht sehr viel weniger wiegen als die Sauerstoffbomben.

Etwas aussichtsreicher dürfte eine andre, in neuerer Zeit mehrfach benutzte Methode der Gewinnung reinen Sauerstoffs sein. Bekanntlich benutzt man jetzt vielfach in Rettungsapparaten für das Betreten von Räumen mit irrespirabler Luft Vorrichtungen, in welchen der Sauerstoff aus Superoxyden durch Einwirkung von Wasser erzeugt wird. Man hat zu diesem Behufe das Natriumsuperoxyd unter dem Namen Oxyolith in handliche Würfel geformt, von denen jeder eine genau bestimmte Quantität Sauerstoff entwickelt, wenn er in Wasser gelöst wird. Dr. Douglas benutzte auf unserer Teneriffa-Expedition derartige Oxyolithwürfel, um in einem größeren Kautschukbeutel Sauerstoff zu Atemversuchen zu entwickeln. Die Methode hat den Vorzug, daß aus dem Oxyolith während der Entwicklung des Sauerstoffs eine Lösung von Natriumhydroxyd gebildet wird, welche die ausgeatmete Kohlensäure absorbiert. Infolgedessen kann man, wenn man an dem Sack hin und her atmet, den darin enthaltenen Sauerstoffvorrat zum größeren Teil verbrauchen. Man kommt also mit einer relativ geringen Sauerstoffmenge längere Zeit aus. Wenn man z. B., wie dies bei den Versuchen von Douglas geschah, in einem entsprechend großen Kautschukbeutel etwa 6 Liter reinen Sauerstoff entwickelt, so kann man, ehe durch den vom Körper ausgeatmeten Stickstoff eine zu erhebliche Abnahme der Sauerstoffdichte im Sack erfolgt ist, immerhin $\frac{2}{3}$ des Vorrats, d. h. etwa 4 Liter veratmen, ohne daß eine Störung in der Atemmechanik sich bemerkbar macht, d. h. man würde mit den 6 Litern Sauerstoff etwa 10 Minuten lang auskommen, während man bei Benutzung von Bomben oder von flüssigem Sauerstoff diese Quantität in einer Minute verbrauchen würde. Es erscheint also sehr wohl denkbar, die Oxyolithmethode derart auszubilden, daß sie für die Ballonfahrten in sehr großen Höhen brauchbar wäre. Man müßte nur für eine sehr bequeme Unterbringung des Oxyolithvorrats, resp. für eine größere Anzahl vorher für Atmung vorbereiteter Kautschuksäcke Sorge tragen. Ein Bedenken sehe ich nur in der sehr niedrigen Temperatur der großen Höhen. Wasser könnte man natürlich nicht ohne weiteres benutzen, es fragt sich, ob eine sehr niedrig gefrierende Salzlösung, etwa eine konzentrierte Chlorcalciumlösung für die Entwicklung des Oxyoliths brauchbar wäre.

Um jene Höhengrenze zu überfliegen, bei der auch die Atmung reinen Sauerstoffs das Leben des Menschen nicht mehr möglich macht, hat v. Schroetter die Einrichtung eines luftdichten Gehäuses vorgeschlagen in welchem sich die Beobachter befinden. Die Wandungen dieses Kastens müßten stark genug sein, um einen Überdruck von 50—100 m Hg im Innern zu gestatten, dann wäre es allerdings möglich, so hoch vorzudringen, wie es die Tragkraft eines Riesenballons nur irgend gestattet. Die Verwirklichung dieses Projekts wird davon abhängen, ob physikalische oder meteorologische Probleme von genügender Bedeutung vorliegen, um die Riesenkosten und die immerhin nicht zu unterschätzende Gefahr für das Leben des Fahrers zu rechtfertigen. Angesichts der Erfolge der unbemannten Registrierballone erscheint es immerhin zweifelhaft, ob diese Frage zu bejahen ist. — Ein Problem, das durch die jüngsten Ansichten über die mit der Höhe zunehmende Anhäufung der spezifisch leichteren Gase in unserer Atmosphäre aktuell geworden ist, die Erforschung der chemischen Zusammensetzung der

Atmosphäre in extremen Höhen, läßt sich wohl auch mit Hilfe der unbemannten Ballone lösen.

Der Zweck dieses Schriftchens wäre erreicht, wenn es mir gelungen wäre, durch schärfere Charakterisierung der physiologischen Vorgänge, welche für den Luftschiffer und den Flieger bedeutungsvoll sind, die Selbstbeobachtung anzuregen und zur Verminderung der Gefahren mitzuhelfen. Vielleicht bin ich stellenweise etwas mehr in physiologische Einzelheiten eingegangen, als zur Information des Technikers nötig erscheint — aber gerade das genauere Studium der Art, wie sich die Regulationen in unserem Körper vollziehen, dürfte geeignet sein, zum Einleben in diese Probleme anzuregen.

Druck der Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin und Bernau.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Luftfahrt und Wissenschaft.

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker.

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson,**

Dipl.-Ing. **C. Eberhardt,**

Gerichtsassessor **J. Sticker,**

Professor Dr. **R. Süring,**

Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr. **H. Zimmermann.**

Früher erschienen:

Heft 1. **Luftfahrtrecht.** Von Dr. jur. **Josef Kohler,** Geh. Justizrat, ordentlicher Professor der Rechte an der Universität Berlin. VI und 45 Seiten. Preis M. 1,20. (Stiftung des Kaiserlichen Aero-Clubs, Berlin.)

Heft 2. **Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Lufterlektrizität.** Von Dr. **M. Dieckmann,** Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Kgl. Technischen Hochschule München. 1. Teil: **Die Empfangsstörung.** Mit 56 Abbildungen. Preis M. 3,—. (Stiftung des Berliner Vereins für Luftschiffahrt, Berlin.)

Demnächst erscheinen:

Untersuchungen über die Formänderungen der Hülle von Prall-Luftschiffen. Von Dipl.-Schiffbau-Ingenieur **Alexander Dietzius,** Privatdozent für Luftschiffbau an der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin.

Die Querschnittsformen der Vogelflügel und ihre Verwertung für Luftschrauben. Von Dipl.-Ing. **C. Eberhardt,** Ingenieur beim Luftschiffer-Bataillon, Berlin.

Tabellen zur astronomischen Ortsbestimmung. Von Dr. **A. Kohlschütter.**

Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Lufterlektrizität. Von Dr. **Max Dieckmann,** Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Kgl. Techn. Hochschule München. 2. Teil: **Die Reichweitenänderung.**

Die Untersuchung der Flugzeug- und Luftschiff-Maschinen. Von Professor **A. Wagener.**

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Biologie des Menschen.

Aus den wissenschaftlichen Ergebnissen der Medizin
für weitere Kreise dargestellt.

Bearbeitet von

Dr. Leo Hess, Prof. Dr. Heinrich Joseph, Dr. Albert Müller, Dr. Karl Rudinger,
Dr. Paul Saxl, Dr. Max Schacherl.

Herausgegeben von

Dr. Paul Saxl und Dr. Karl Rudinger.

Mit 62 Textfiguren.

Preis M. 8,—; in Leinwand gebunden M. 9,40.

Die Methode der künstlichen Atmung und ihre Anwendung in historisch-kritischer Beleuchtung mit besonderer Berücksichtigung der Wiederbelebungsverfahren von Ertrunkenen und Ersticken. Von Dr. G. van Eysselsteijn, Direktor des Universitäts-Krankenhauses in Groningen. Mit einem Vorwort von Prof. K. F. Wenkebach in Straßburg i. E. 1912.

Preis M. 3,20.

Der Einfluß psychischer Vorgänge auf den Körper, insbesondere auf die Blutverteilung. Von Prof. Dr. E. Weber, Oberassistent am Physiologischen Institut der Universität Berlin. Mit 120 Textfiguren. 1910.

Preis M. 14,—; in Leinwand gebunden M. 16,—.

Vorlesungen über Physiologie. Von Dr. M. von Frey, Professor der Physiologie und Vorstand des Physiologischen Instituts an der Universität Würzburg. Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 80 Textfiguren. 1911.

In Leinwand gebunden Preis M. 11,—.

Das Ohrlabyrinth als Organ der mathematischen Sinne für Raum und Zeit. Von Prof. Dr. E. von Cyon. Mit 45 Textfiguren, 5 Tafeln und dem Bildnis des Verfassers. 1908.

Preis M. 14,—.

Die Nerven des Herzens. Ihre Anatomie und Physiologie. Von Professor Dr. E. von Cyon. Übersetzt von H. L. Heusner. Neue, vom Verfasser umgearbeitete und vervollständigte Ausgabe mit einer Vorrede für Kliniker und Ärzte. Mit 47 Textfiguren.

Preis M. 9,—.

Elektrophysiologie menschlicher Muskeln. Von Dr. med. H. Piper, a. o. Professor der Physiologie, Abteilungsvorsteher am Physiologischen Institut der Kgl. Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin. Mit 65 Abbildungen. 1912.

Preis M. 8,—; in Leinwand gebunden M. 8,80.

Physiologisches Praktikum. Chemische und Physikalische Methoden. Von Prof. Dr. Emil Abderhalden, Direktor des Physiologischen Institutes der Universität zu Halle a. S. Mit 271 Figuren im Text.

Preis M. 10,—; in Leinwand gebunden M. 10,80.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Luftfahrt und Wissenschaft

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor A. Berson, **Dipl.-Ing. C. Eberhardt,**
Gerichtsassessor J. Sticker, **Professor Dr. R. Süring,**
Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr. H. Zimmermann

Heft 4

**Stoffdehnung und Formänderung der Hülle von Prall-
Luftschiffen. Untersuchungen im Luftschiffbau der Siemens-
Schuckert-Werke**

Von

R. Haas und A. Dietzius



Berlin

Verlag von Julius Springer

1913

East Engineering
Library

TL
545-
.L949

Stoffdehnung und Formänderung der Hülle von Prall-Luftschiffen

Untersuchungen im Luftschiffbau der Siemens-Schuckert-Werke

Von

Dr.-Ing. Rudolf Haas

und

Dipl. Schiffbau-Ingenieur Alexander Dietzius

Privatdozent für Luftschiffbau an der Königl. Technischen Hochschule zu Berlin

Mit 138 Textfiguren



Berlin

Verlag von Julius Springer

1913

**Druck der Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke)
in Berlin und Bernau.**

Vorwort.

Die technischen Anforderungen, die an die Hülle eines Freiballons gestellt werden, beschränken sich auf Dichtigkeit, Festigkeit, geringes Gewicht und Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchungen und atmosphärische Einflüsse. Die Form der Hülle dagegen ist beliebig. Es kommt im allgemeinen nicht darauf an, ob sie unter dem Einfluß der Stoffspannungen Änderungen erleidet.

Das gleiche gilt von den Gaszellen der starren Luftschiffe. Auch sie dienen lediglich der Aufnahme und Erhaltung der Füllung.

Anders bei den Luftschiffen der halbstarren und unstarren Bauart: hier ist der Hülle außer dem Gasabschluß noch die Aufgabe zugewiesen, gegenüber Biegungs- und Schubkräften eine bestimmte, für den Betrieb erforderliche Form aufrecht zu erhalten.

Nun ist mit jeder Kraftaufnahme eine Formänderung verbunden. Solange die Größe dieser Formänderung die Erreichung des Betriebszweckes nicht verhindert, kann sie bei der Konstruktion außer acht gelassen werden. Für Schiffe mit geringem Streckungsverhältnis ist das im allgemeinen möglich.

Mit wachsendem Streckungsverhältnis jedoch werden die Biegungs- und Schubkräfte, die teils dauernd infolge der Belastung, teils vorübergehend bei der Fahrt auftreten, immer größer, die letzteren besonders dann, wenn die Eigengeschwindigkeit des Schiffes eine hohe ist. Es kann dann leicht die Grenze der für den Betrieb noch zulässigen Formänderungen erreicht und überschritten werden.

Dieser Fall ist bei dem Versuchsluftschiff der Siemens - Schuckert - Werke eingetreten. Schon in den ersten Wochen nach der Füllung und später im Laufe der Fahrten stellte es sich heraus, wie vorteilhaft, ja wie notwendig eine genaue Kenntnis der Dehnungseigenschaften des Ballonstoffs für die Formgebung seiner Hülle gewesen wäre.

In den folgenden Studien ist versucht worden, das Versäumte nachzuholen.

Der Direktion der Siemens - Schuckert - Werke gebührt besonderer Dank für die Bereitwilligkeit, mit der sie die Vornahme der zu beschreibenden sehr interessanten Untersuchungen im allgemeinen Interesse des Luftschiffbaues ermöglichte, da ja die gewonnenen Ergebnisse ihrem eigenen Versuchsluftschiff nicht mehr zugute kommen konnten.

Inbesondere sind die Unterzeichneten dem Leiter der Kriegs- und Schiffbautechnischen Abteilung der Siemens - Schuckert - Werke, Herrn Direktor Otto Krell, für das rege Interesse und die weitgehende Unterstützung, die er den vorliegenden Studien angedeihen ließ, zu aufrichtigem Danke verpflichtet.

Die Ergebnisse, deren Anwendung sich bei einem so langgestreckten Ballon als unumgänglich erwiesen hat, können nun darüber hinaus überall da von Wert sein, wo Ballonstoff zur Aufnahme und Übertragung von Kräften verwendet wird.

Der Konstrukteur, dem die Kenntnis der Formänderungseigenschaften von Eisen und Stahl als etwas Selbstverständliches gilt, wird auch für Ballonstoff die gleiche Kenntnis zu erwerben suchen.

Die planmäßige Erforschung des Stoffmaterials nach dieser Richtung hin liegt im Interesse der erzeugenden Firmen. Enthalten ihre Angebote außer den Angaben über Preis, Gewicht, Festigkeit und Gasdichtigkeit auch solche über die Formänderungseigenschaften, so ist die Aufgabe des Konstrukteurs erleichtert, die Gefahr von Mißerfolgen gemindert und damit die Absatzmöglichkeit erhöht.

Berlin, im Dezember 1912.

Rudolf Haas. Alexander Dietzius.

Inhaltsverzeichnis.

Stoffdehnung und Hüllenform

Von

Dr.-Ing. Rudolf Haas.

	Seite
Einleitung: Verbiegung der Hülle, Korrektur, Vorbeugung	1
A. Die Dehnungseigenschaften des Ballonstoffes	2
Der einfache Stoff	2
Die Fadenschiebung	2
Durchmesserdehnung, Längskontraktion und Verdrehung der Hülle infolge der Fadenschiebung	5
Die Fadenstreckung	7
Durchmesserdehnung und Längskontraktion der Hülle infolge der Fadenstreckung	11
Die Fadendehnung	12
Die resultierende Formänderung	12
Die Beziehung zwischen Spannung und Formänderung	13
Die innere Reibung	14
Versuche	14
Versuch I. Die Langsamkeit der Formänderung	15
Versuch II. Die Beziehung zwischen Spannung und Formänderung	16
Versuch III. Die Fadendehnung	21
Versuch IV. Die Formänderung zylindrischer Hüllen	22
Mehrfache Stoffe	27
Ableitung ihrer Dehnungskurven aus denen des einfachen Stoffes	27
Versuch V. Die Dehnungskurven mehrfacher Stoffe	29
Die Schubspannungen	30
Versuch VI. Die Schiebung des einfachen und diagonaldoublierten Stoffes	30
Die Formänderung einer Hülle aus paralleldoubliertem Stoff	34
Die Formänderung einer Hülle aus diagonaldoubliertem Stoff	37
B. Die Versuchsunterlagen für die praktische Vorausbestimmung der Hüllenformänderung	37
Die Normalcharakteristik	38
Die Schubcharakteristik	39
Methoden zur Ermittlung der Normalcharakteristik	39
Die Methode zur Ermittlung der Schubcharakteristik	40
Versuch VII. Die Normalcharakteristik eines diagonaldoublierten Stoffes. „Einzelkreuzmethode“	40
Versuch VIII. Die Normalcharakteristik eines dreifachen Stoffes. „Vielkreuzmethode“	48
Versuch IX. Die Schubcharakteristik eines dreifachen Stoffes	52
C. Die Formänderung der Hülle	57
Die an der Hülle wirkenden Kräfte	57
Der Gang der Berechnung	58

	Seite
Die Formänderung der luftgefüllten und gewichtslosen Hülle	59
Das Grundgesetz der Spannungsverteilung	59
Die Anwendung auf die Berechnung der kritischen Schubspannung. (Zwischen- betrachtung)	60
Die Anwendung auf die Spannungsberechnung der Hülle	61
Die Bestimmung der Durchmesserdehnung und Längskontraktion	62
Die Biegung der gasgefüllten Hülle.	63
Die Naviersche Hypothese	63
Die Biegemomente	66
Die Biegungsspannungen	67
Die Form der Biegungslinie	68
Die Schiebung der gasgefüllten Hülle	69
Die Verteilung der Schubspannungen über den Querschnitt	69
Die Form der Schiebungslinie	72
Die Form der Hüllenquerschnitte	72
Die den Querschnitt beeinflussenden Kräfte	73
Erster Belastungsfall: Angehängte Last gleich Null	75
Zweiter Belastungsfall: Last gleich Auftrieb	76
Die Gleichungen für Querspannung und Krümmungsradius	76
Die praktische Bestimmung der Querschnittsform	80
Dritter Belastungsfall: Last größer oder kleiner als Auftrieb	83
Der Einfluß der Querschnittsform auf die Größe der Biegung und Schiebung	84
Die praktische Anwendung bei der Biegungs- und Schiebungsrechnung	85
D. Beispiel der Formänderungsrechnung einer Hülle	88
I. Die Durchmesserdehnung und Längskontraktion	88
II. Die biegenden Kräfte	90
III. Die Schubkräfte und Momente	91
IV. Die Biegung	91
V. Die Schiebung und die resultierende Hüllenform	95
E. Studien an einem besonders einfach belasteten Modell.	95
Beschreibung des Modells und seiner Belastung	96
Die Verdrehung	98
Die Durchmesserdehnung und Längskontraktion	99
Die Biegungs- und Schiebungslinie	101
Vergleichende Berechnung	102
Zusammenfassung	105
Stoff-Tabelle	106

Formänderung der Hülle des Siemens-Schuckert-Luftschiffs

(Feststellungen am Original und Versuche am Modell)

Von

Dipl. Schiffbau-Ingenieur **Alexander Dietzius.**

Die geometrische Grundform der Hüllen von Prallluftschiffen	109
Die Veränderung der Querschnittsform	109
Die Veränderung des Längsprofils (Durchbiegung).	109
Rechnerische bzw. graphische Ermittlung der Formänderung	111
Bestimmung der Formänderungen an dem mit Wasserstoff gefüllten Ballon	112
Ergebnisse von Messungen am Siemens-Schuckert-Motorballon	113

	Seite
Bestimmung der Formänderung durch Modellversuche	116
a) Ermittlung des Modellmaßstabes	117
b) Ermittlung der Verteilung der Kräfte am Modell	118
c) Beschreibung und Ergebnisse eines Modellversuches der Siemens-Schuckert-Werke	124
1. Formänderungen des Modells	128
2. Bestimmungen der Lage des Volumschwerpunktes	129
3. Bestimmungen der Volumänderung bei wechselndem Innendruck	129
4. Bestimmung der Durchbiegungen der Hülle, verursacht durch zusätzliche Biegemomente:	
α) in der Horizontalebene (durch Ruderdruck)	130
β) in der Vertikalebene (durch Gewichtsverschiebungen)	131

Stoffdehnung und Hüllenform

Beitrag zur Konstruktion von Ballonhüllen

Von

Dr.-Ing. Rudolf Haas

Einleitung.

Verbiegung der Hülle, Korrektur, Vorbeugung.

Die Hülle der unstarren und halbstarren Luftschiffe wird in der Regel als Rotationskörper ausgebildet. Der Zuschnitt der Stoffbahnen erfolgt dabei so, daß die Achse dieses Rotationskörpers eine Gerade ist. Sehr geringe Abweichungen von der Geraden, wie sie durch Ungenauigkeiten beim Aufzeichnen, Ausschneiden und Zusammenkleben der Bahnen entstehen, sind praktisch bedeutungslos.

Mit der Füllung und Montage tritt die Hülle unter Belastung; erstens infolge des Innendruckes, zweitens infolge der angehängten und der eigenen Last. Die Gasdruck- und die Gewichtsbelastung rufen Biegungs- und Schubspannungen hervor; unter dem Einfluß dieser Spannungen beginnt die bis dahin gerade Achse der Hülle sich zu krümmen: Der Rücken senkt sich, Kopf und Schwanz streben nach oben.

Dieser Krümmungsprozeß zeigt den Charakter eines langsamen Fließens. Er dauert tagelang fort, bis er asymptotisch eine Grenze erreicht, die im Verhältnis zur Lebensdauer der Hülle als fest angesehen werden kann.

Da die Formänderung der Ballonstoffe im Vergleich zu den Baustoffen des Maschinenbaus sehr erheblich ist, so erfordert die Verbiegung der Hülle in der Regel eine Korrektur.

Die Art dieser Korrektur richtet sich nach der Konstruktion des Schiffes. Bei Seiltakelung, bei der die Lasten durch weitgehende Unterteilung der Seile auf zahlreiche Punkte eines angenähten Gurtes übertragen werden, kann die Hülle in gefülltem Zustande durch Kürzen oder Längen einzelner Seile wenigstens im Bereich des Gurtes zurückgebogen werden. Die Anwendung dieses Hilfsmittels ist jedoch begrenzt, weniger durch die entstehende Ungleichmäßigkeit der Gurtbelastung als durch die Möglichkeit einer völligen Entlastung und Faltenbildung der Bauchseite. Bei Schiffen, die an Stelle einer Seiltakelung eine Stoffbahnaufhängung besitzen, kommt eine Formverbesserung an der gefüllten Hülle überhaupt nicht in Betracht. Ist nicht von vornherein auf die zu erwartenden Krümmungen Rücksicht genommen worden, so bleibt nichts übrig, als unter Opferung der ersten Füllung die Hülle durch eingesetzte Keilstücke annähernd gerade zu richten.

Es erscheint zweckmäßig, sich schon bei der Konstruktion ein Bild über die zu erwartende Formänderung zu machen und der Hülle von vornherein eine negativ verkrümmte Achse zu geben, die erst unter dem Einfluß der Belastung die gerade, für die Höhensteuerung und für die Erzielung des Geschwindigkeitsmaximums unerläßliche Form annimmt.

Die Grundlage für die Vorausbestimmung der Hüllenformänderung ist die Kenntnis der Dehnungseigenschaften des Ballonstoffes.

A. Die Dehnungseigenschaften des Ballonstoffes.

Der einfache Stoff.

Der zur Zeit verwendete Ballonstoff besteht aus 2 oder 3 durch Gummierung miteinander verbundenen Baumwollgeweben, die in ihren Faserrichtungen entweder parallel sind, oder einen Winkel miteinander bilden (Paralleldoublierung, Diagonaldoublierung). Der einfache Stoff wiederum ist aus 2 Gruppen von Fäden (Kette und Schuß) gebildet, die sich unter einem bestimmten, meist rechten Winkel überkreuzen. Dieses Gefüge erleidet unter dem Einfluß von Kräften drei Arten von Formänderungen, die in ihren Ursachen unabhängig voneinander sind, in ihren Wirkungen sich unter Umständen beeinflussen.

In Fig. 1 ist an einem eingespannten Stoffstück eine Kraft P angebracht. Die Wirkung ist folgende:

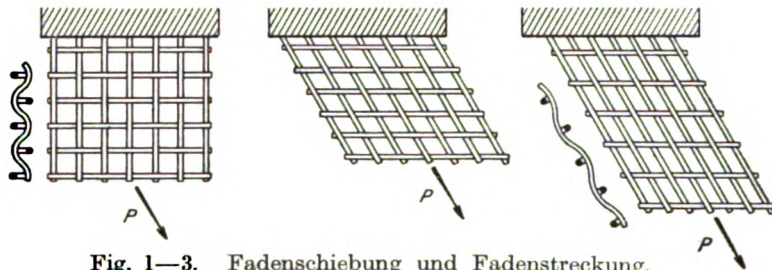


Fig. 1—3. Fadenschiebung und Fadenstreckung.

Da das Viereckgefüge keine Diagonalen enthält, geht es zunächst in die Lage der Fig. 2 über. Dies nennen wir die Fadenschiebung.

Da weiter der gezogene Faden eine Wellenlinie bildet, sucht er sich gerade zu strecken (Fig. 3). Dies nennen wir die Fadenstreckung.

Da drittens der gestreckte Faden selbst sich dehnt, erfährt der Stoff eine weitere Verlängerung in Richtung der Kraft. Dies nennen wir die Fadendehnung.

Die Fadenschiebung.

Die Fadenschiebung ist die Winkeländerung eines viereckigen Netzes. Den allgemeinsten Belastungsfall zeigt Fig. 4. Aus dem beliebig in der Ebene liegenden, durch die Spannungen σ_1 und σ_2 beanspruchten Stoff ist ein kleines Rechteck von den Seitenlängen a und b herausgeschnitten. Es besteht aus einer Anzahl $[n_1]$ Quer- und einer gleichen oder verschiedenen Anzahl $[n_2]$ Längsfäden. [In der Figur sind z. B. je 4 Fäden angenommen.] Auf jeden Faden entfallen nun entsprechend den beiden Spannungen 2 zueinander senkrechte Einzelkräfte P_1 und P_2 bzw. P_3 und P_4 . Sie setzen sich zu Resultierenden R_1 und R_2 zusammen, deren Richtungen im allgemeinen von den Fadenrichtungen abweichen. [In der Figur sind diese Kräfte nur an je einem Quer- und Längsfaden dargestellt, und zwar nur nach einer Seite hin. Am anderen Ende jedes Fadens sind selbstverständlich gleiche und entgegengesetzt gerichtete Kräfte anzubringen.]

Da das viereckige Netz keine Winkelfestigkeit hat, so müssen sich, damit Gleichgewicht besteht, die Fäden in die Richtungen der Resultierenden einstellen; d. h. aus dem Stoffrechteck der Fig. 4 entsteht das Parallelogramm der Fig. 5.

Sind α und β die Winkel der Fäden gegenüber einer der beiden Hauptrichtungen, so ergeben sich für die Größe der Einzelkräfte folgende 4 Bedingungen:

$$\begin{aligned} P_1 \cdot n_1 &= \sigma_1 \cdot a_1 = \sigma_1 \cdot a \cdot \cos \alpha & P_3 \cdot n_2 &= \sigma_2 \cdot b_1 = \sigma_2 \cdot b \cdot \sin \beta \\ P_2 \cdot n_1 &= \sigma_2 \cdot a_2 = \sigma_2 \cdot a \cdot \sin \alpha & P_4 \cdot n_2 &= \sigma_1 \cdot b_2 = \sigma_1 \cdot b \cdot \cos \beta \end{aligned}$$

Durch Division ergibt sich:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \cdot \text{ctg } \alpha \qquad \frac{P_3}{P_4} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot \text{tg } \beta.$$

Aus den schraffierten Dreiecken folgt andererseits:

$$\frac{P_1}{P_2} = \text{tg } \beta \qquad \frac{P_3}{P_4} = \text{ctg } \alpha.$$

Durch Gleichsetzung folgt:

$$\text{tg } \beta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \cdot \text{ctg } \alpha \qquad \text{ctg } \alpha = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot \text{tg } \beta,$$

woraus in beiden Fällen:

$$\text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \beta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \dots \dots \dots \text{ (Gl. 1)}$$

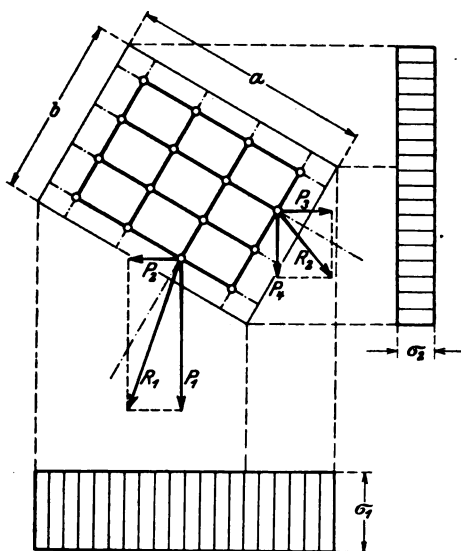


Fig. 4. Stoffelement vor der Fadenschiebung.

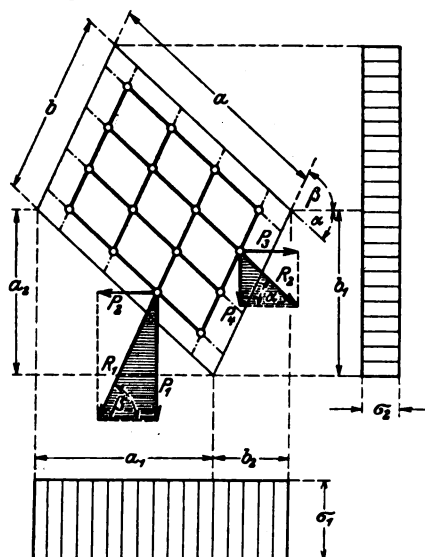


Fig. 5. Dasselbe nach der Fadenschiebung.

Diese Gleichung besagt zunächst:

1. Es kommt nicht auf die Fadenzahl pro Längeneinheit an; die Fadenschiebung ist unabhängig davon, ob Kette und Schuß gleich oder verschieden dicht sind.

2. Es kommt nicht auf die Fadenstärke an; die Fadenschiebung ist unabhängig von Qualitätsverschiedenheiten zwischen Kette und Schuß.

3. Es kommt nicht auf die absolute Größe der Spannungen an. Vielmehr ist für die Fadenschiebung nur ihr Verhältnis maßgebend.

Gleichung 1 wird durch ∞ viele Parallelogramme erfüllt. Jedem beliebigen Winkel α ist ein Winkel β zugeordnet, für den Gleichgewicht besteht. Zur eindeutigen

Bestimmung eines einzigen Parallelogrammes ist also noch eine zweite Bedingung notwendig. Sie ist gegeben durch die Einspannung des Stoffelementes in seiner Umgebung.

In Fig. 6 und 7 sind das ursprüngliche Rechteck und das aus ihm entstandene Parallelogramm in ihrem Zusammenhang mit einer zylindrischen Hülle einander gegenübergestellt. Die Einspannbedingung lautet:

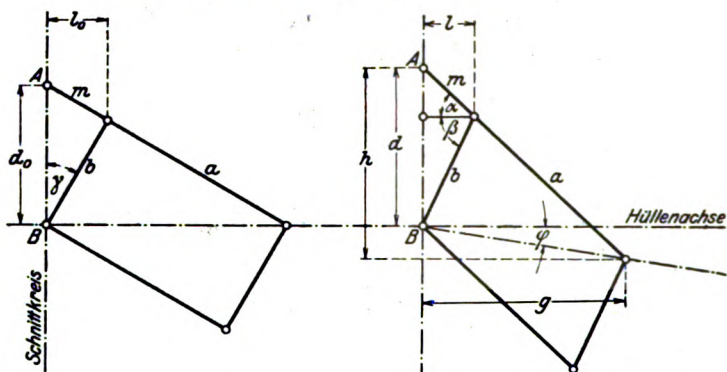


Fig. 6 und 7. Lage des Stoffelementes innerhalb der Hülle.

Diejenigen Fadenschnitte A und B, die einem Schnittkreis der Hülle angehören, verbleiben bei der Fadenschiebung auf diesem Schnittkreis, aus Symmetriegründen; in Form einer Gleichung (Fig. 7):

$$m \cdot \cos \alpha = b \cdot \cos \beta = l.$$

Daraus folgt:

$$\frac{b}{m} = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}.$$

Nun ist gemäß Fig. 6:

$$\frac{b}{m} = \operatorname{ctg} \gamma.$$

Somit:

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \operatorname{ctg} \gamma. \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Gl. 2})$$

Durch Gleichung 1 und 2 sind nunmehr α und β aus dem Spannungsverhältnis und dem Anfangswinkel γ bestimmbar. Die Ausrechnung der Werte kann hier übergangen werden. Ihre Darstellung in Raumkoordinaten ergibt Fig. 8 und 9, mit folgenden Merkmalen:

1. Beide Flächen sind Spiegelbilder, da jedem Winkel γ zwischen 0 und 45° ein solcher zwischen 45 und 90° zugeordnet ist, für den sich ein symmetrischer Belastungsfall ergibt (vgl. auch Fig. 6 und 7).

2. Verschwindet die eine der beiden Spannungen, so werden beide Winkel α und $\beta = 90^\circ$; d. h. die übrig bleibende Spannung zieht das Rechteck zu einer Linie auseinander.

3. Fadenschiebung tritt nicht ein, wenn der Stoff parallel zur Hüllennachse liegt. Denn

$$\begin{aligned} \text{für } \gamma = 0^\circ \text{ ist } \alpha = 0^\circ; \beta = 90^\circ \\ \text{,, } \gamma = 90^\circ \text{ ist } \alpha = 90^\circ; \beta = 0^\circ. \end{aligned}$$

4. Fadenschiebung tritt nicht ein, wenn $\sigma_1 = \sigma_2$; denn alsdann ist nach Gleichung 1 (Seite 3):

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = 1.$$

d. h.

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

oder:

$$\cos \beta = \sin \alpha.$$

Durch Einsetzung in Gleichung 2 ergibt sich:

$$\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \operatorname{ctg} \gamma,$$

d. h.

$$\alpha = \gamma,$$

in Worten: das Rechteck der Fig. 6 bleibt erhalten.

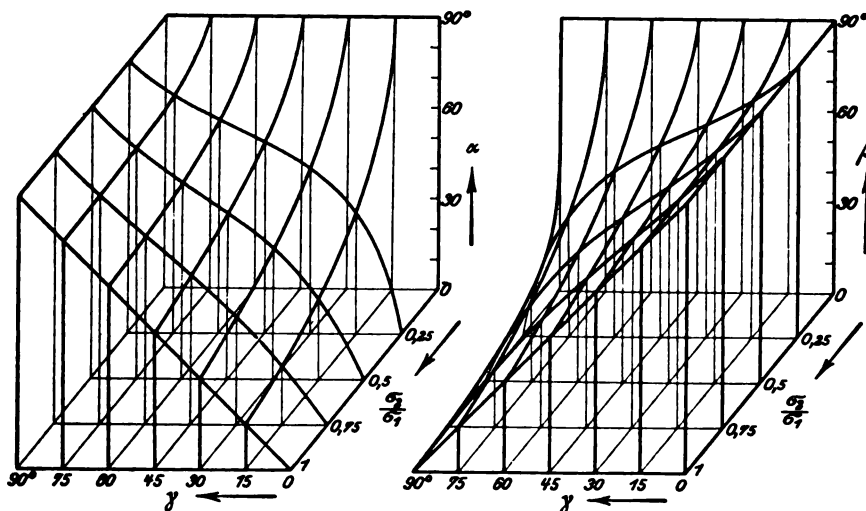


Fig. 8 und 9. Die resultierenden Fadenwinkel der Fadenschiebung.

Durchmesserdehnung, Längskontraktion und Verdrehung der Hülle infolge der Fadenschiebung.

Den Konstrukteur interessieren bei der Fadenschiebung nicht ihre Winkel α und β , sondern ihre Folgen für die Form der Ballonhülle.

Die erste Folge ist eine Dehnung des Durchmessers. Sie ist bestimmt durch einen Faktor $\frac{d}{d_0}$, der das Verhältnis des neuen zum alten Durchmesser darstellt (Fig. 6 und 7). Er berechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned} d &= b \cdot \sin \beta + m \cdot \sin \alpha \\ &= b (\sin \beta + \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \alpha) \\ &= d_0 \cdot \cos \gamma \cdot (\sin \beta + \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \alpha), \end{aligned}$$

woraus:

$$\frac{d}{d_0} = \sin \beta \cdot \cos \gamma + \sin \alpha \cdot \sin \gamma.$$

Der Durchmesserzuwachs in Prozent ist:

$$\Delta d = 100 \cdot \left(\frac{d}{d_0} - 1 \right)$$

Die zweite Folge der Fadenschiebung ist eine Verminderung der Länge. Sie ist bestimmt durch einen Faktor $\frac{l}{l_0}$, der das Verhältnis der neuen zur alten Länge des Hüllenringes darstellt. Er berechnet sich wie folgt:

$$l = b \cdot \cos \beta = \frac{l_0}{\sin \gamma} \cdot \cos \beta,$$

woraus:

$$\frac{l}{l_0} = \frac{\cos \beta}{\sin \gamma}.$$

Die Längenabnahme in Prozent ist:

$$\Delta l = 100 \cdot \left(1 - \frac{l}{l_0} \right).$$

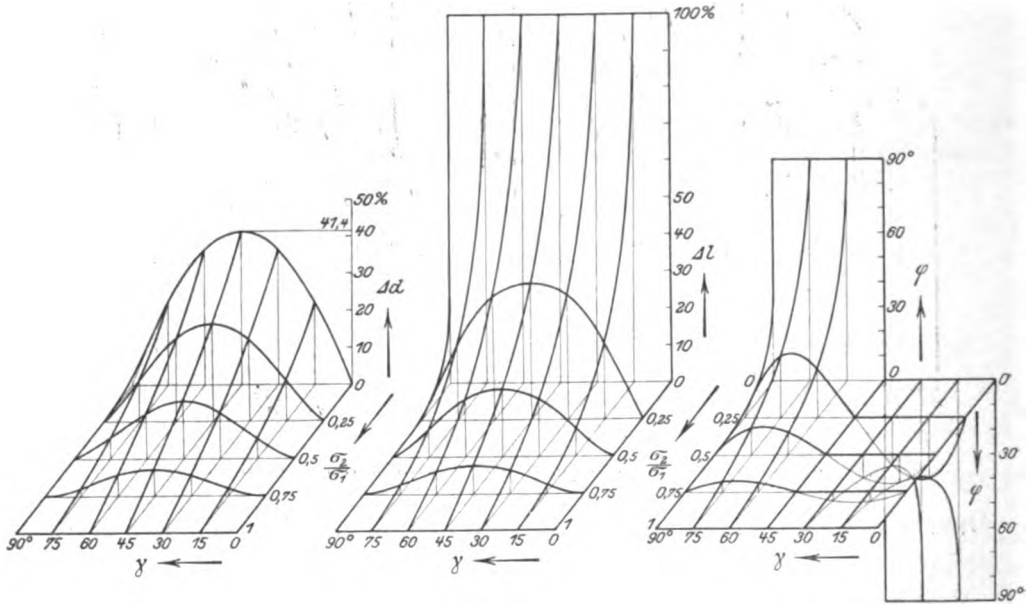


Fig. 10—12. Durchmesserdehnung, Längskontraktion und Verdrehung einer zylindrischen Hülle als Folge der Fadenschiebung.

Die dritte Folge der Fadenschiebung ist eine Verdrehung der Hülle. Sie ist bestimmt durch den Schiebungswinkel φ (Fig. 7), dessen Tangente sich wie folgt berechnet:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{h - d}{g}.$$

Hierin ist:

$$h = (a + m) \cdot \sin \alpha = \frac{d_0}{\sin \gamma} \cdot \sin \alpha = \frac{b \cdot \sin \alpha}{\cos \gamma \cdot \sin \gamma}$$

$$d = b (\sin \beta + \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \alpha)$$

$$g = (a + m) \cdot \cos \alpha = \frac{b \cdot \cos \alpha}{\cos \gamma \cdot \sin \gamma}$$

Die Einsetzung ergibt:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot (\sin \alpha - \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma - \sin \alpha \cdot \sin^2 \gamma).$$

Die Bestimmung von Δd , Δl und φ aus Fig. 8 und 9 liefert die in Fig. 10 bis 12 dargestellten Flächen.

Sie zeigen zunächst, daß für $\gamma = 0$ bzw. 90° weder eine Durchmesserdehnung noch eine Längskontraktion noch eine Verdrehung der Hülle durch Fadenschiebung eintritt.

Dasselbe ist der Fall, wenn Quer- und Längsspannung einander gleich sind. Für diagonal unter 45° liegenden Stoff ist keine Verdrehung vorhanden, dafür erreichen Durchmesserdehnung und Längskontraktion ihr Maximum.

Für alle Winkel γ zwischen 45° und 0 bzw. 90° kommt zur Durchmesserdehnung und Längskontraktion eine positive oder negative Verdrehung, je nachdem $\gamma >$ oder $< 45^\circ$ ist.

Hinsichtlich der absoluten Werte gelten die Flächen für ein ideales Netzgefüge von beliebiger Verschiebbarkeit. In Wirklichkeit ist die Fadenschiebung durch die Enge der Maschen begrenzt. Die Bestimmung der Grenze ist Sache des Versuches. Für die Theorie der Fadenschiebung genügt die Erfassung ihrer Wirkungsweise und Größenordnung.

Die Fadenstreckung.

Die Fadenstreckung ergibt sich aus der gegenseitigen Kräftewirkung der ineinander geschlungenen Ketten- und Schußfäden (Fig. 13). Die Beziehungen sind verwickelter als bei der Fadenschiebung. Wir beschränken uns daher auf den einfachsten, zugleich wichtigsten Fall, daß die Richtung der Fäden mit der der Spannungen übereinstimmt ($\gamma = 0$), und machen ferner die Annahme, daß die Fäden einen unveränderlichen kreisrunden Querschnitt, eine in ihrer Länge unveränderliche Mittellinie und eine beliebig hohe, widerstandsfreie Biegsamkeit besitzen.

Sind n_1 und n_2 die Fadenzahlen pro m, P_1 und P_2 die in der Stoffebene wirkenden Komponenten der Fadenkräfte Z_1 und Z_2 , ε und ζ die Winkel der Fäden zur Stoffebene, so gilt für die normal zur Stoffebene wirkenden Komponenten N_1 und N_2 folgende Beziehung:

$$N_1 = P_1 \cdot \operatorname{tg} \varepsilon$$

$$= \frac{\sigma_1}{n_1} \cdot \operatorname{tg} \varepsilon$$

$$N_2 = P_2 \cdot \operatorname{tg} \zeta$$

$$= \frac{\sigma_2}{n_2} \cdot \operatorname{tg} \zeta.$$

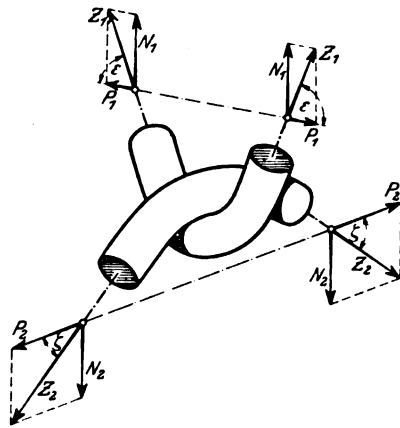


Fig. 13. Kräftewirkung bei der Fadenstreckung.

Für den Zustand des Gleichgewichtes ist:

$$N_1 = N_2,$$

also:

$$\frac{\sigma_1}{n_1} \cdot \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\sigma_2}{n_2} \cdot \operatorname{tg} \zeta,$$

woraus:

$$\frac{\operatorname{tg} \varepsilon}{\operatorname{tg} \zeta} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot \frac{n_1}{n_2} \dots \dots \dots \quad (\text{Gl. 3})$$

Diese Gleichung entspricht der Form nach der Gleichung 1 (Seite 3) für die Fadenschiebung. Sie besagt zunächst:

1. Es kommt auf das Verhältnis der Fadenzahlen pro Längeneinheit an.
2. Es kommt nicht auf die Fadenstärke an.
3. Es kommt nicht auf die absolute Größe der Spannungen an, sondern nur auf ihr Verhältnis.

Gleichung 3 wird analog Gleichung 1 durch ∞ viele Winkel ε und ζ befriedigt, da sie nur das Tangentenverhältnis vorschreibt. Zur eindeutigen Lösung ist noch eine weitere Gleichung erforderlich. Sie ergibt sich aus der Fadenstärke δ und der als unveränderlich angenommenen Fadenlänge s_1 bzw. s_2 zwischen je 2 Kreuzungspunkten K_1 und K_1' , bzw. K_2 und K_2' (Fig. 14).

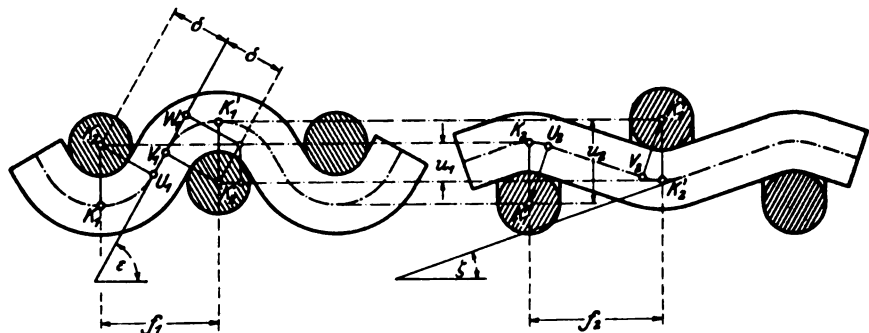


Fig. 14. Beziehung zwischen Fadenlänge, Fadenstärke und Fadenwinkel bei der Fadensreckung.

Es ist:

$$\begin{aligned} s_1 &= \overline{K_1 U_1 V_1 K_1'} \\ &= \overline{U_1 V_1} + 2 \cdot \overline{K_1 U_1}. \end{aligned}$$

Hierin ist:

$$\begin{aligned} \overline{U_1 V_1} &= \overline{U_1 W_1} - \overline{V_1 W_1} \\ &= 2 \delta \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon - \frac{u_1}{\sin \varepsilon}. \end{aligned}$$

Ferner ist:

$$\overline{K_1 U_1} = \delta \cdot \varepsilon.$$

Somit:

$$s_1 = 2 \delta \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon - \frac{u_1}{\sin \varepsilon} + 2 \delta \cdot \varepsilon,$$

oder:

$$u_1 = 2 \delta \cdot \cos \epsilon + 2 \delta \cdot \epsilon \cdot \sin \epsilon - s_1 \cdot \sin \epsilon.$$

In gleicher Weise ergibt sich für den anderen Faden:

$$u_2 = 2 \delta \cdot \cos \zeta + 2 \delta \cdot \zeta \cdot \sin \zeta - s_2 \cdot \sin \zeta.$$

Nun besteht zwischen den beiden Wellenhöhen u_1 und u_2 die Beziehung:

$$u_1 + u_2 = 2 \delta.$$

Man erkennt diese Beziehung am besten, wenn man sich zunächst den einen Faden ganz gerade gestreckt vorstellt; in diesem Falle ist die Wellenhöhe des anderen Fadens ohne weiteres gleich dem doppelten Fadendurchmesser. Erteilt man nun dem geraden Faden eine Wellenhöhe von dem beliebigen Betrag u_1 , so vermindert sich die Wellenhöhe des anderen Fadens um den gleichen Betrag, so daß die Summe konstant bleibt.

Es ergibt sich also:

$$2 \delta \cdot \cos \epsilon + \sin \epsilon (2 \delta \cdot \epsilon - s_1) + 2 \delta \cdot \cos \zeta + \sin \zeta (2 \delta \cdot \zeta - s_2) = 2 \delta,$$

oder nach Division durch den Faktor 2 und die an sich beliebige, nur in ihrem Verhältnis zu den Fadenlängen s_1 und s_2 maßgebende Fadenstärke:

$$\cos \epsilon + \sin \epsilon \left(\epsilon - \frac{s_1}{2 \delta} \right) + \cos \zeta + \sin \zeta \left(\zeta - \frac{s_2}{2 \delta} \right) = 1 \quad \dots \text{(Gl. 4)}$$

Nach oben hin sind die Werte von s_1 und s_2 unbegrenzt; je größer die Fadenlängen, desto weiter die Maschen des Gewebes. Nach unten hin jedoch bestimmt der Minimalraumbedarf der Fäden eine Grenze, die nicht ohne weiteres aus Gleichung 4 hervorgeht, sondern durch eine besondere Betrachtung gefunden wird. Es sind zwei Fälle zu unterscheiden:

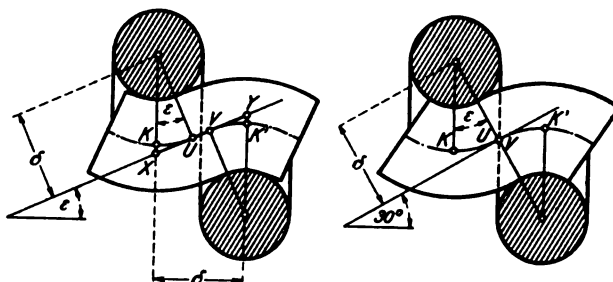


Fig. 15 und 16. Grenzwerte der Fadenlänge.

Ist $\epsilon \leq 30^\circ$, so ist (Fig. 15):

$$\begin{aligned} s_{\min} &= \overline{K U V K'} = \overline{X Y} - 2 \overline{X U} + 2 \overline{K U} \\ &= \frac{\delta}{\cos \epsilon} - 2 \delta \cdot \operatorname{tg} \epsilon + 2 \delta \cdot \epsilon, \end{aligned}$$

woraus folgt:

$$\frac{s}{2 \delta} \geq \epsilon + \frac{1 - 2 \sin \epsilon}{2 \cos \epsilon}$$

Wäre $\frac{s}{2 \delta}$ kleiner als dieser Grenzwert, so müßten sich die beiden im Querschnitt gezeichneten Fäden an ihren Kreuzungsstellen durchdringen, was unmöglich ist.

Ist $\epsilon \geq 30^\circ$, so lautet die Grenzbedingung (Fig. 16):

$$s_{\min} = 2 \delta \cdot \epsilon$$

oder:

$$\frac{s}{2\delta} \geq \epsilon \dots \dots \dots \text{(Gl. 5)}$$

Mit Berücksichtigung dieser Grenzbedingungen sind aus Gleichung 3 und 4 die Fadenwinkel ϵ und ζ für beliebige Fadenlänge und für ein beliebiges Spannungsverhältnis bestimmbar. Die umständliche, am besten zeichnerisch erfolgende Berechnung kann hier übergangen werden. Sie wurde durchgeführt für den Fall gleicher Fadenzahlen und gleicher Fadenlängen für Kette und Schuss. Das Ergebnis ist in Flächenform in Fig. 17 dargestellt. Die Fadenlängen $s = \frac{2}{3}\pi \cdot \delta$ bis $\pi \delta$ sind darin insofern ausgezeichnete Werte, als bei ihnen die Fadenwinkel ϵ und ζ gemäß Gleichung 5 die runden Maximalwerte von 60, 70, 80 und 90° erreichen können.

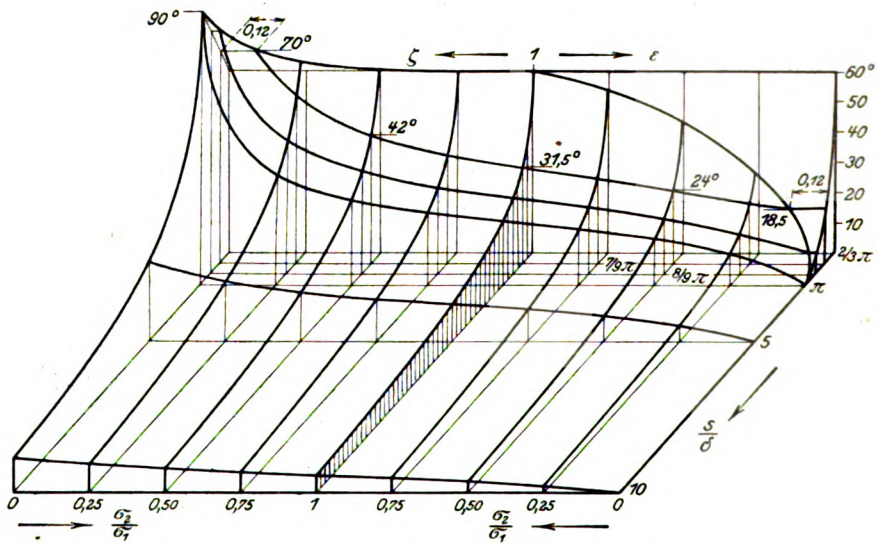


Fig. 17. Die resultierenden Fadenwinkel der Fadenstreckung.

Die Fläche ist durch eine schraffierte Mittelwand in zwei Hälften geteilt. Die Ordinaten der rechten Hälfte stellen die Größe von ϵ , die der linken die von ζ dar. Beide Hälften sind gegenseitig vertauschbar. Als Nullwerte sind die Ordinaten der schraffierten Wand zu betrachten. Beispiel: Bei der Fadenlänge $s = \frac{7}{9}\pi \delta$ und dem Spannungsverhältnis 1 betragen beide Fadenwinkel je 31,5°. Wird $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ kleiner, zum Beispiel 0,5, so wird ϵ kleiner (24°), ζ größer (42°). Nimmt $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ weiter ab, so wird schließlich bei $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 0,12$ mit $\epsilon = 18,5^\circ$ und $\zeta = 70^\circ$ ein Grenzwert erreicht, den zu überschreiten der Minimalraumbedarf der Fäden nicht gestattet.

Fig. 17 gibt einen guten Überblick über die Wirkungsweise der Fadenstreckung: sie beruht auf einer Erhöhung bzw. Verflachung der Fadenwellenlinien. Sind die Wellen an sich sehr flach, d. h. sind die Maschen des Gewebes sehr weit, so kann eine Änderung der Spannungsverteilung nur geringen Einfluß haben. Werden

die Maschen enger, so steigen die Wellenhöhen und damit auch ihr Veränderungsbereich. Werden schließlich die Maschen so eng, daß die Fäden einer Gattung (Kette bzw. Schuß) sich gegenseitig berühren (diese Erscheinung beginnt bei der Fadenlänge $s = \pi \cdot \delta$ einzutreten), so vermindert sich der Veränderungsbereich wieder, bis bei völlig dichtem Gewebe, d. h. bei dem Grenzwert $s = \frac{2}{3} \pi \cdot \delta$ die Fadenstreckung zu Null wird, da jede Bewegungsfreiheit durch den Minimalraumbedarf der Fäden aufgehoben ist.

Durchmesserdehnung und Längskontraktion der Hülle infolge der Fadenstreckung.

Auch bei der Fadenstreckung ist die Bestimmung der Fadenwinkel nicht Selbstzweck. Vielmehr kommt es für den Konstrukteur auf ihre Folgen für die Hüllenform an. Behalten wir die einschränkende Annahme bei, daß der Stoff parallel zur Achse liege, so äußert sich die Fadenstreckung im Gegensatz zur Fadenschiebung nur in zwei Erscheinungen, einer Durchmesserdehnung und Längskontraktion der Hülle. Beide sind direkt proportional der Änderung der Fadenteilungen f_1 und f_2 in Fig. 14. Z. B. ergibt sich für den Durchmesserzuwachs:

$$\Delta d = 100 \cdot \left(\frac{f_1}{f_0} - 1 \right)$$

Hierin berechnet sich die Fadenteilung wie folgt:

$$f_1 = 2 \delta \cdot \sin \epsilon + \overline{U_1 V_1} \cdot \cos \epsilon.$$

Hierin ist:

$$\overline{U_1 V_1} = s_1 - 2 \delta \cdot \epsilon,$$

also:

$$f_1 = 2 \delta \cdot \sin \epsilon + s_1 \cdot \cos \epsilon - 2 \delta \cdot \epsilon \cdot \cos \epsilon.$$

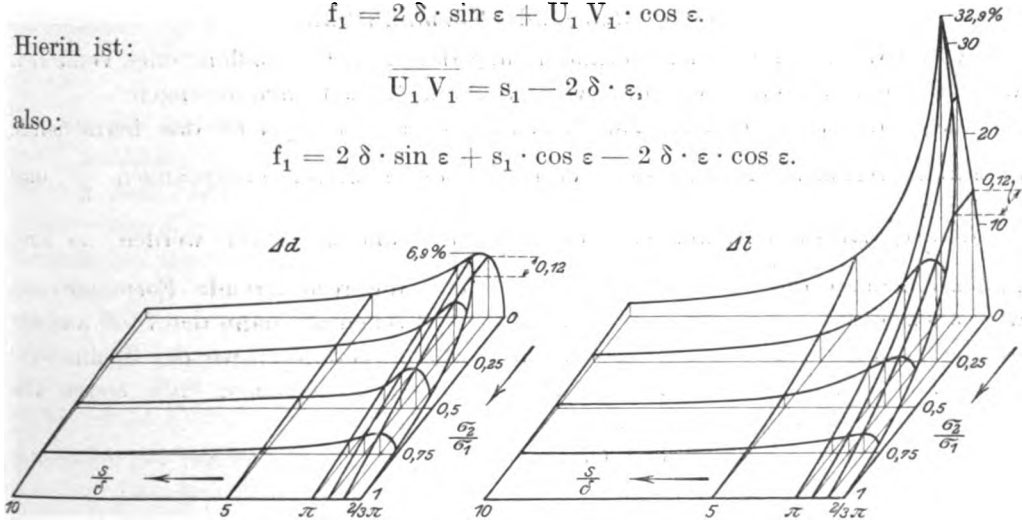


Fig. 18 und 19. Durchmesserdehnung und Längskontraktion einer zylindrischen Hülle als Folge der Fadenstreckung.

Mithin

$$\frac{f_1}{f_0} = \frac{\sin \epsilon - \epsilon \cdot \cos \epsilon + \frac{s_1}{2 \delta} \cdot \cos \epsilon}{\sin \epsilon_0 - \epsilon_0 \cdot \cos \epsilon_0 + \frac{s_1}{2 \delta} \cdot \cos \epsilon_0}$$

Durch Vertauschung von ϵ mit ζ und s_1 mit s_2 ergibt sich die Längenabnahme Δl .

Die Berechnung beider Werte aus den in Fig. 17 dargestellten Winkeln liefert die Flächen der Fig. 18 und 19. Die Nullwerte sind wiederum bei $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$ angenommen. Hier tritt das über die Wirkungsweise der Fadenstreckung Gesagte noch deutlicher hervor: die bei weiten Maschen sehr geringe Formänderung steigt mit enger werdenden Maschen allmählich an und fällt nach Erreichung des Maximums infolge des Minimal-Raumbedarfes der Fäden steil ab.

Die Fadendehnung.

Mit dem Begriff der Fadendehnung wollen wir alle Formänderungen bezeichnen, die der Faden selbst erleidet.

Unter dem Einfluß der ihn beanspruchenden Kräfte dehnt er sich der Länge nach aus. Gleichzeitig vermindert er seinen Durchmesser, nicht nur dadurch, daß die einzelnen Fasern, aus denen er besteht, sich zusammenziehen, sondern auch dadurch, daß sie sich innerhalb ihres Gespinnstes enger aneinander legen. Endlich wird der Querschnitt des Fadens, den wir mit Annäherung als kreisförmig ansehen dürfen, an den Kreuzungsstellen mehr oder weniger flach gedrückt.

Die Fadendehnung ist einer theoretischen Behandlung unzugänglich. Sie tritt bei jeder Beanspruchung des Stoffes auf als unvermeidliche Begleiterscheinung der Fadenschiebung und Fadenstreckung.

Die resultierende Formänderung.

Unter der resultierenden Formänderung des einfachen Ballonstoffes verstehen wir das Gesamtergebnis der drei vorgenannten Einzelformänderungen.

Liegt der Stoff parallel zur Hüllennachse, und entspricht das herrschende Spannungsverhältnis zufällig dem Verhältnis der relativen Fadenlängen $\frac{s_1}{\delta}$ und $\frac{s_2}{\delta}$ derart, daß die Gleichungen 3 und 4 (Seite 8 und 9) erfüllt werden, so sind Fadenschiebung und Fadenstreckung = 0, und die resultierende Formänderung wird allein durch die Fadendehnung bestimmt. Drehen wir dann den Stoff aus der parallelen Lage heraus, so tritt die Fadenschiebung, verändern wir das Spannungsverhältnis, so tritt die Fadenstreckung hinzu. Im allgemeinen Falle treten alle 3 Formänderungen gleichzeitig auf.

Daß hierbei innerhalb der Gesamtwirkung eine gegenseitige Beeinflussung der Einzelformänderungen möglich ist, zeigt folgende Betrachtung.

Die beiden Gleichungen für die Fadenschiebung sind:

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \dots \dots \dots \text{(Gl. 1)}$$

und

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \operatorname{ctg} \gamma \dots \dots \dots \text{(Gl. 2)}$$

Erstere besagt, daß die Fäden sich in die Richtung der resultierenden Kräfte einstellen müssen. Sie wird offenbar auch dann gelten, wenn eine Fadenstreckung erfolgt. Gleichung 2 setzt die beiden Fadenwinkel α und β in eine Beziehung zu-

einander, die durch die Anfangswerte m und b (Fig. 6, Seite 4) und damit auch durch die Fadenteilungen f_1 und f_2 (Fig. 14, Seite 8) mitbestimmt ist. Da sich nun diese Fadenteilungen durch die Fadenstreckung ändern, so folgt, daß Gleichung 2 durch folgende Form zu ersetzen ist:

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \text{ctg } \gamma \cdot x,$$

wobei x eine Funktion der Fadenstreckung ist. Besonders wichtig ist diese Betrachtung für $\gamma = 45^\circ$. Hier ergibt sich:

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \text{ctg } 45^\circ \cdot x = x$$

und damit:

$$\alpha \geq \beta,$$

d. h. durch die mittelbare Wirkung der Fadenstreckung kann eine Verdrehung eintreten, wo sie nach den Ableitungen über die Fadenschiebung nicht erwartet wird. Wir werden auf diese für den Hüllbau unangenehme Erscheinung wiederholt zurückkommen.

Ein Gegenstück ergibt sich für die Fadenstreckung. Ihre beiden Gleichungen sind:

$$\frac{\text{tg } \varepsilon}{\text{tg } \zeta} = \frac{\sigma_2 \cdot n_1}{\sigma_1 \cdot n_2} \dots \dots \dots \text{ (Gl. 3)}$$

und:

$$\cos \varepsilon + \sin \varepsilon \left(\varepsilon - \frac{s_1}{2\delta} \right) + \cos \zeta + \sin \zeta \left(\zeta - \frac{s_2}{2\delta} \right) = 1 \dots \text{ (Gl. 4)}$$

Hier ist die erstere als reine Gleichgewichtsbedingung von den Fadenwinkeln ε und ζ unabhängig. Die zweite hingegen gilt nur für rechtwinklige Kreuzung der Fäden. Bei schrägen Kreuzungen treten an Stelle der kreisförmigen Teile der Fadenwellen Schraubenlinien; außerdem wird die Voraussetzung unveränderlicher Fadenlängen durch die Fadendehnung gestört, so daß an Stelle der Gleichung 4 eine neue tritt von der Form:

$$\cos \varepsilon + \sin \varepsilon \left(\varepsilon - \frac{s_1}{2\delta} \right) + \cos \zeta + \sin \zeta \left(\zeta - \frac{s_2}{2\delta} \right) = y,$$

worin y eine Funktion der Fadenschiebung und Fadendehnung ist.

Die Beziehung zwischen Spannung und Formänderung.

Nach Gleichung 1 und 3 (Seite 3 und 8) ist für die Fadenschiebung und Fadenstreckung nur das Verhältnis der Spannungen, nicht ihr absoluter Wert maßgebend. Dies Ergebnis führt zu nachstehenden Folgerungen:

1. Schon ∞ kleine Spannungen erzwingen den jeweils einzig möglichen Wert der Formänderung in seiner vollen Größe.
2. Die Formänderung vollzieht sich ohne Arbeitsleistung. Sie kann bei Entlastung durch innere Kräfte des Stoffes nicht rückgängig gemacht werden.
3. Der Stoff kann keine bestimmte Gestalt (Länge, Breite) besitzen, die der Spannungslosigkeit entspricht.

Wir sehen, daß die obengenannten Gleichungen einer Einschränkung bedürfen. In der Tat beruhen sie auf der unerfüllten Voraussetzung, daß das Gewebe völlig unelastisch sei. Im Gegenteil besitzt der Faden eine gewisse, wenn auch sehr geringe Elastizität, die seiner Verlängerung, Zusammendrückung und Biegung einen mit der Größe der Formänderung wachsenden Widerstand entgegenstellt.

Hinzukommt der Einfluß der Stoffgummierung. Die in die Zwischenräume der Fäden eindringende Gummimasse und die über dem Stoff ausgebreitete Gummihaut wirkt für die Fadenschiebung als federnde Diagonale, für die Fadenstreckung und Fadendehnung als federnde Verstärkung, die die Fäden zu einem, wenn auch kleinen Teil entlastet.

Es ist daher zu erwarten, daß der Stoff schon bei geringen Belastungen eine hohe Formänderung aufweist, da er nur durch die elastischen Kräfte der Fäden und die Gummierung zurückgehalten wird. Je höher die Belastung steigt, desto langsamer wird die Formänderung sich ihrem theoretischen Maximalwert nähern (Kurve I in Fig. 20). Wird der Stoff entlastet, so wird die Elastizität der Fäden und die Gummierung die Formänderung rückgängig zu machen suchen.

Die innere Reibung.

In dem Fasermaterial des Stoffgefüges ist eine hohe innere Reibung begründet. Sie hat zur Folge, daß die Formänderung die in Kurve I (Fig. 20) dargestellte

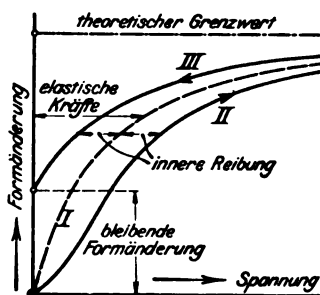


Fig. 20. Allgemeine Form der Dehnungskurven.

Größe nicht erreicht, sondern ihr gegenüber um einen gewissen Betrag zurückbleibt, in positivem Sinne bei der Belastung, in negativem bei der Entlastung (siehe Kurve II und III).

Die bleibende Formänderung bei völliger Entlastung entspricht dem Gleichgewicht zwischen den elastischen Kräften und der inneren Reibung.

Der Vorgang ist derselbe wie bei den Baustoffen des Maschinenbaus, jedoch tritt er beim Stoff bei jeder Belastung, bei jenen praktisch erst jenseits der Fließgrenze auf. Ballonstoff ist bei jeder Formänderung im Zustand des Fließens.

Die innere Reibung ist die Gesamtwirkung sehr vieler, unmeßbarer Einzelwiderstände. Man kann sie sich durch eine Art Verfilzung entstanden denken. Dieser Vorstellung entspricht es, daß sie sich im Laufe der Formänderung in gewissen Grenzen ändert, daß also das Gleichgewicht der Kräfte nicht sofort endgültig erreicht wird, sondern daß jede Formänderung zu ihrer Ausbildung Zeit braucht.

Versuche.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Versuche wurden in der drehbaren Ballonhalle der Siemens-Schuckert-Werke ausgeführt und verteilten sich zeitlich, je nach Gelegenheit, über die erste Hälfte des Jahres 1912.

Die Versuchseinrichtungen waren einfach. Von besonderen Festigkeitsmaschinen oder Feinmeßeinrichtungen konnte wegen der Größe der zu messenden Formänderungen abgesehen werden. Die Längenmessungen z. B. erfolgten in der Regel

mit einem schmalen, biegsamen Zelluloid-Maßstab mit Millimeterteilung, unter Schätzung der Zehntel.

Zur Belastung dienten neben geeichten Gewichtstücken hauptsächlich abgewogene Sandsäcke.

Die Wahl der zu den Versuchen verwendeten Stoffe war durch den Bestand des in der Ballonhalle geführten Reparaturlagers entscheidend beeinflusst. Nur wenige Stoffproben wurden eigens für die Versuche von der Firma Riedinger, Augsburg, zur Verfügung gestellt.

Die Beschreibung der Versuche ist auf eine kurze Darstellung der Versuchsanordnung und die Angabe der Ergebnisse in zeichnerischer Form beschränkt. Alle Zwischenrechnungen sind weggelassen.

Zum Zweck einer guten Übersicht werden alle Versuche fortlaufend (römisch) numeriert. Außerdem ist am Schlusse dieser Arbeit (Seite 106) eine Stofftabelle beigelegt, in der alle zu den Versuchen verwendeten Stoffe kurz beschrieben und mit einem Kennbuchstaben versehen sind.

Versuch I.

Die Langsamkeit der Formänderung.

(Stoff E und F der Tabelle.)

Je ein 5 cm breiter und etwa 40 cm langer Streifen (Streifen von diesen Abmessungen sind im Folgenden stets Normalstreifen genannt) wurde durch Anhängen von 20 kg mit 400 kg/m in Richtung des Schusses belastet. (Bei diagonal-doublierten Stoffen ist für die Richtungsangabe „Kette, Schuß“ jeweils die untere, der Länge nach durchgehende Stofflage maßgebend.)

In anfangs kurzen (Minuten und Stunden), später längeren Zeitabständen (Tagen) wurde die Dehnung (Meßlänge 200 mm) bestimmt.

Zwei weitere gleiche Streifen wurden ebenfalls mit 400 kg/m belastet, jedoch nicht auf einmal, sondern in 4 Stufen (100, 200, 300, 400) in Zeitabständen von je 24 Stunden.

Die Ablesungen wurden 4 Wochen lang fortgesetzt. Hiernach wurde die Entlastung vorgenommen, und zwar bei den ersten beiden Streifen gleich auf einmal, bei den letzten wieder stufenweise (300, 200, 100, 0).

Die ermittelten Dehnungen sind in Prozent als Funktion der Zeit in Fig. 21 und 22 dargestellt. Die eingeschriebenen Belastungszahlen weisen auf diejenigen Dehnungswerte hin, die jeweils 1 Minute nach erfolgter Belastung bzw. Entlastung gemessen wurden. Die darauf folgenden Versuchspunkte entsprechen der Dehnung nach 2 Stunden, die nächstfolgenden nach 24 Stunden. Von da ab nimmt die Dehnung nur noch langsam zu. Sie erreicht ihren endgültigen Wert bei der Belastung nach etwa 14 Tagen, bei der Entlastung frühestens nach etwa 4 Wochen.

Kleine Wellen in den Kurven (mit a bezeichnet) sind in starken Schwankungen der Temperatur und Luftfeuchtigkeit begründet. Der genauere Zusammenhang der Formänderung mit diesen Einflüssen blieb hier, wie bei allen anderen Versuchen, unberücksichtigt.

Bei der Entlastung zeigt sich, wie gering die elastischen Kräfte gegenüber der inneren Reibung sind. Die Kürzung der Streifen, namentlich bei der stufenweisen Entlastung, war stellenweise unmeßbar. Im Zusammenhang damit ist die bleibende Dehnung sehr hoch, etwa $5\frac{1}{2}\%$.

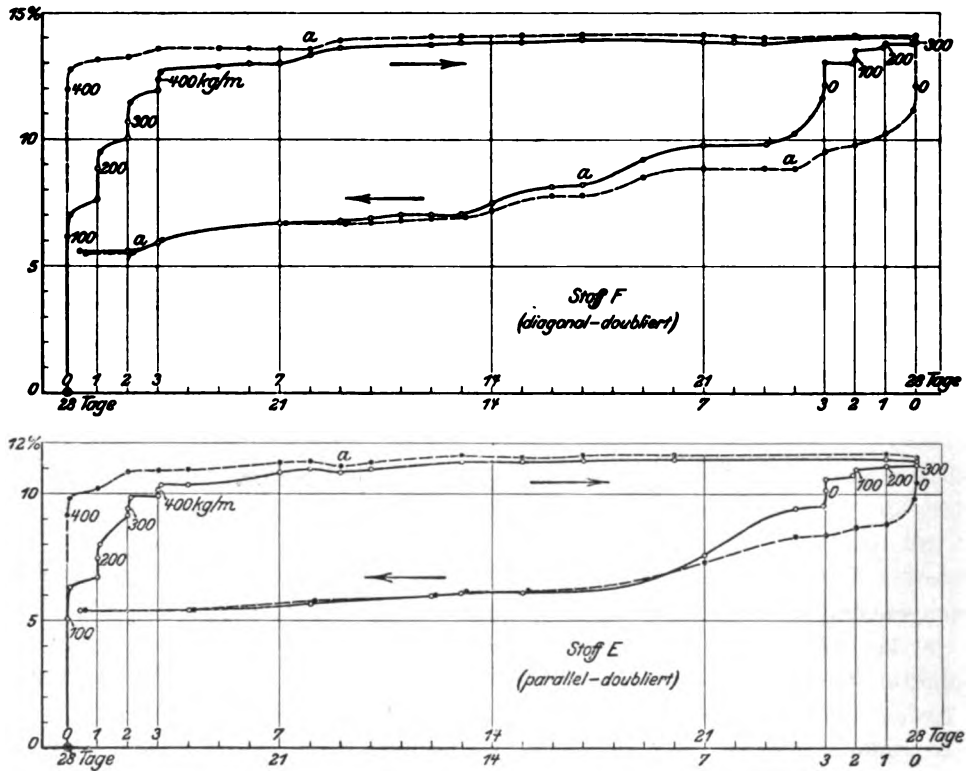


Fig. 21 und 22. Versuch I. Die Langsamkeit der Formänderung.
(Stoff E und F der Tabelle.)

Versuch II.

Die Beziehung zwischen Spannung und Formänderung.

(Stoff A, B, C, D der Tabelle).

Je 3 Normalstreifen wurden unter regelmäßiger Laststeigerung bis zum Bruch gedehnt, und zwar immer einer in Richtung der Kette, einer in Richtung des Schusses und einer diagonal unter 45° . Die Laststeigerung erfolgte in kurzen Abständen (ca. 1 Min.) um 20 bis 50 kg/m, je nach dem Genauigkeitsbedarf. Etwa eine halbe Minute nach erfolgter Laststeigerung wurde abgelesen, die Dehnung bei einer Meßlänge von 200 mm, die Querkontraktion bei einer Meßbreite gleich der Streifenbreite = 50 mm.

Die Versuchswerte sind in Fig. 23 bis 26 in Prozent als Funktion der spezifischen Belastung aufgetragen. (Die Versuchspunkte selbst sind nur im ersten Diagramm angegeben, um den Grad der Genauigkeit der Kurven zu veranschaulichen.)

Die Spannung ist als Quotient aus der angehängten Last und der ursprünglichen Streifenbreite von 50 mm, nicht aber der jeweiligen, geringeren Breite berechnet. Das gleiche Verfahren wird bei Dehnungsversuchen im Maschinenbau angewendet. Da die Formänderungen des Stoffes aber ungleich größere sind, so empfiehlt sich für genauere Rechnungen die Anbringung einer Korrektion (hierüber siehe später Seite 62).

Die ermittelten Dehnungskurven zeigen den in Fig. 20 angenommenen Charakter. Sie weichen damit vom Hookeschen Proportionalitätsgesetz stark ab. Die in der Praxis auftretenden Beanspruchungen gehen in der Regel nicht über das schnell ansteigende Anfangsstück der Dehnungskurven hinaus.

Für die Dehnung des Stoffes ist die Kraftrichtung von ausschlaggebender Bedeutung; folgende Erscheinung kehrt bei allen Proben wieder: Die Dehnung des Schusses ist verschieden von der der Kette, und beide werden erheblich übertroffen von der Dehnung in der Diagonalen. In Fig. 27 ist dieser Unterschied an der verschiedenen Meßlänge bei gleicher Belastung der 3 Streifen zu erkennen.

Der Unterschied zwischen Kette und Schuß ist eine Folge der Fadenstreckung. Er kann nur darin begründet sein, daß im ungespannten Stoff die Wellenlinien der Ketten- und Schußfäden verschieden hoch sind, daß also die in den Fig. 17 bis 19 (Seite 10 u. 11) gemachte Annahme, nach der der Zustand gleicher Wellenhöhe ($s_1 = s_2$, $\epsilon = \zeta$) als Anfangszustand angenommen wurde, nicht zutreffend ist.

Zur Entstehung solcher Unterschiede bietet der Gang der Fabrikation vornehmlich an zwei Stellen Gelegenheit:

1. Im Webstuhl sind die den beiden Fadenrichtungen zugeteilten Bewegungsvorgänge und Kräfte grundsätzlich verschieden.

2. Bei der Gummierung wird der Stoff unter einer gewissen Spannung von einer Rolle auf die andere übergewickelt; dabei ist er in Richtung der Kette gedehnt, des Schusses zusammengezogen. Ein Teil dieser Formänderung ist bleibend. Ein und derselbe Stoff besitzt also nach der Gummierung eine andere Nulllage der Fadenstreckung als vorher.

Welche Beachtung diese Tatsache, die im Hüllenbau nur nachteilige Folgen hat, bei den erzeugenden Firmen findet, konnte nicht festgestellt werden. Eine Reihe dahin abzielender Fragen stieß auf Zurückhaltung.

Fig. 23 und 24, die für ein- und denselben Stoff gelten, zeigen den Einfluß der Gummierung: die Schußdehnung, die bei ungummiertem Stoff die geringere ist, übertrifft beim gummierten die Kettendehnung um fast das Doppelte.

Auch bei den gummierten Stoffen der Fig. 25 und 26 ist die Schußdehnung die größere (siehe besonders Stoff C). Ihr entspricht jedesmal die größere Querkontraktion in Richtung der Kette.

Im Zusammenhang hiermit ist auf folgende Beobachtung hinzuweisen. Eine Reihe von Versuchsstreifen wurde erst einige Wochen, sogar Monate nach ihrer Vorbereitung (Aufzeichnung, Zuschnitt) untersucht, da der Fahrbetrieb des Siemens-Schuckert-Ballons die verfügbare Arbeitszeit öfters absorbierte. Während dieser Zeit verminderten sich in fast allen Fällen die Meßlängen, die durch feine Tuschelinien auf dem Stoff markiert waren, in Richtung der Kette um $\frac{1}{2}$

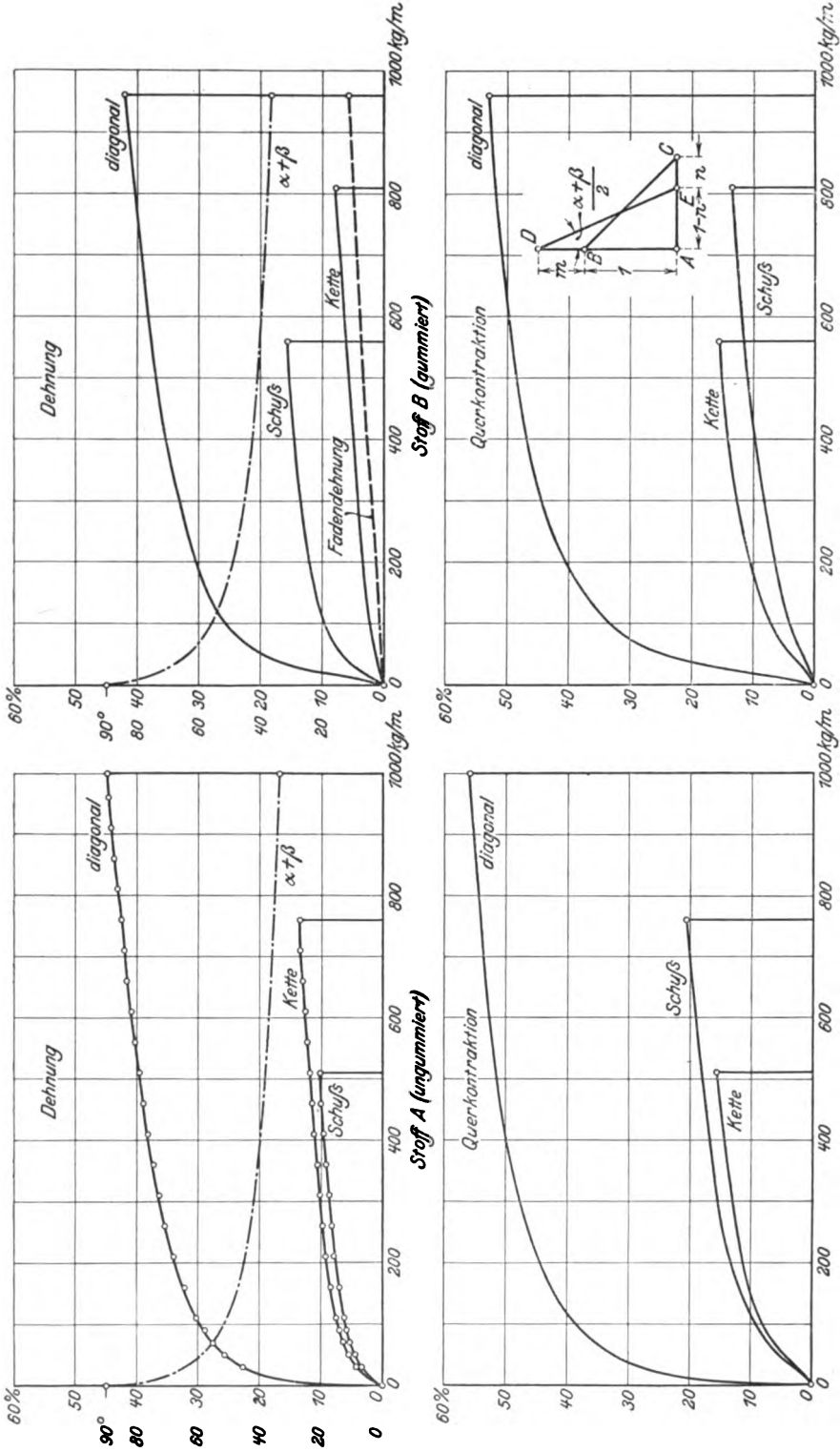


Fig. 23 und 24. Versuch II. Formänderung einfachen, ungummierten und gummierten Stoffes. (Stoff A und B der Tabelle).

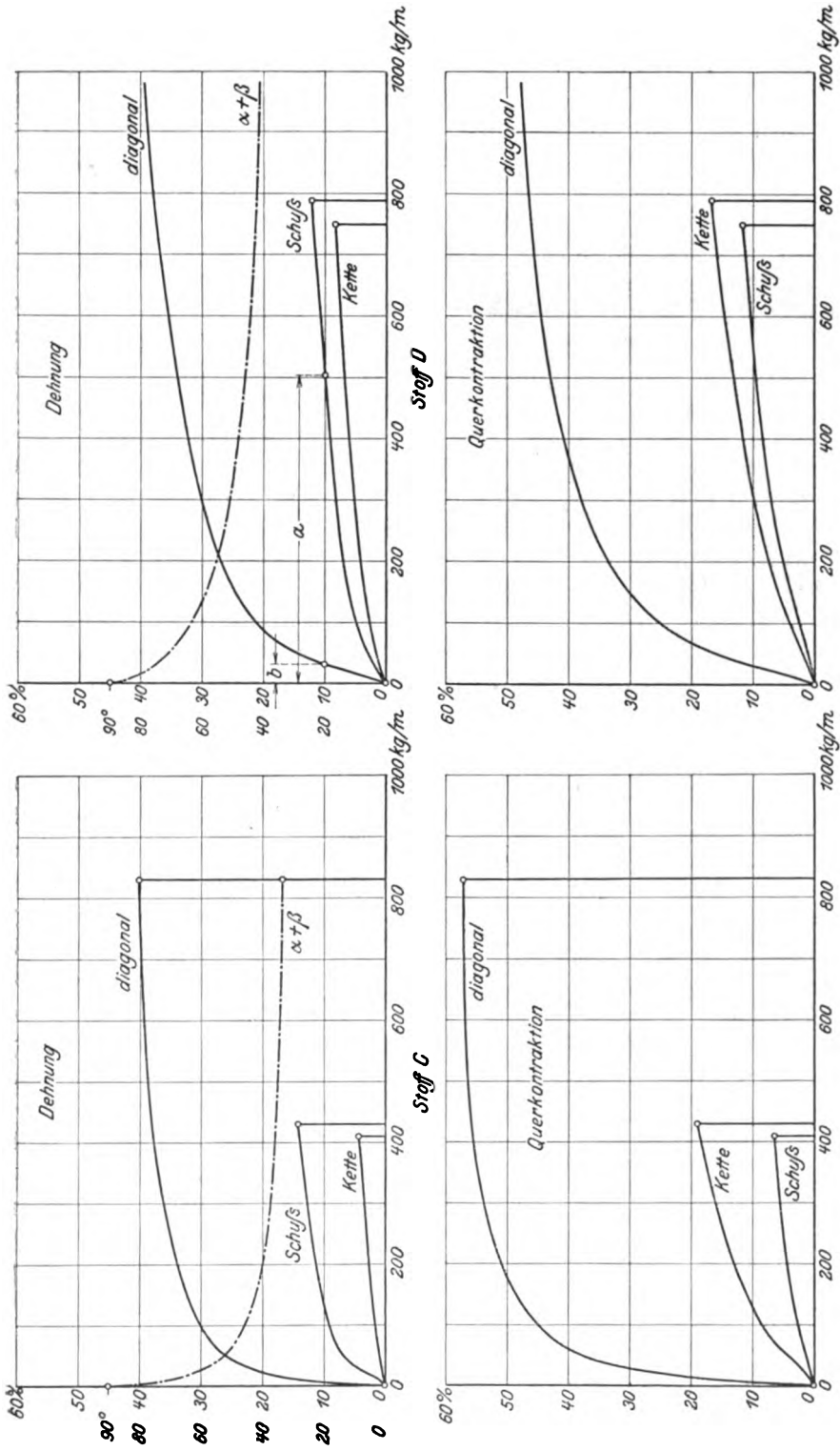


Fig. 25 und 26. Versuch II. Formänderung einfacher Stoffe. (Stoff C und D der Tabelle).

bis 1%. Auch dies wird am einfachsten durch die Vorspannung der Kettenfäden während der Fabrikation erklärt.

Die großen Unterschiede zwischen Ketten- und Schußdehnung weisen darauf hin, daß die praktischen Werte der relativen Fadenlängen $\frac{s}{\delta}$ zwischen $\frac{2}{3}\pi$ und π liegen, wo die Flächen der Fig. 18 und 19 (Seite 11) steile Abhänge haben. Im

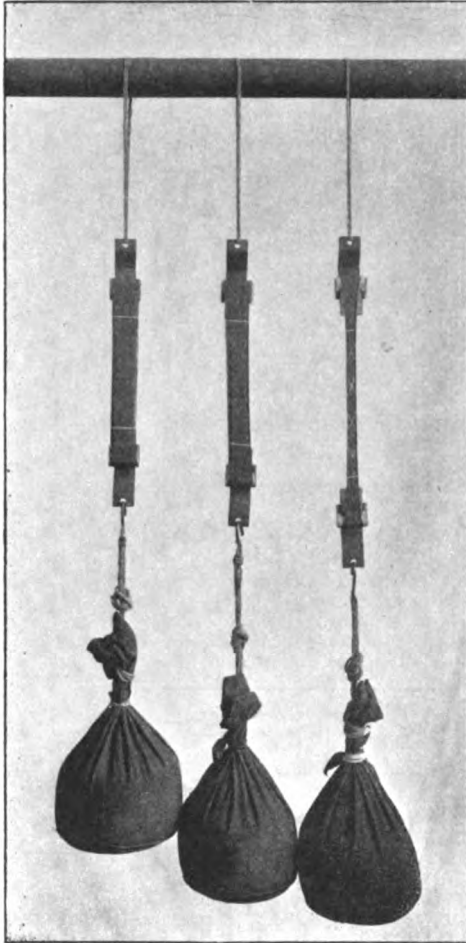


Fig. 27. Versuch II. Drei Normalsreifen, Kette, Schuss und diagonal. (Stoff C der Tabelle).

übrigen scheidet ein quantitativer Vergleich der gemessenen Werte mit den theoretischen der Fig. 18 und 19 an der Unsicherheit der dort angenommenen Nullage und an den der Theorie zugrunde gelegten weitgehenden Vereinfachungen.

In den hohen Formänderungen für diagonale Belastung äußert sich die Fadenschiebung. Da die Normalstreifen nur in ihrer Längsrichtung, jedoch nicht quer dazu belastet wurden, so ist das Spannungsverhältnis $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 0$, und damit als theoretischer Grenzwert für die Dehnung 41,4%, für die Querkontraktion 100% zu erwarten. (Siehe Fig. 10 bis 12 Seite 6.)

Hinsichtlich der Dehnung zeigen die gemessenen Maximalwerte eine gute Übereinstimmung mit der Theorie. Stellenweise gehen sie infolge der gleichzeitig auftretenden Fadendehnung über 41,4% hinaus. Für geringere Spannungen gilt die in Fig. 20 ausgedrückte Einschränkung.

Bei der Querkontraktion besteht ein Unterschied zwischen Theorie und Versuch von ca. 45%. Er ist begründet durch den Minimal-Raumbedarf der Fäden, insofern als der Winkel $\alpha + \beta$, den Kette und Schuß bilden, nicht ganz zu Null werden kann. In Fig. 27 ist dieser Winkel in den Spitzen der drei aufeinanderstehenden Rhomben zu erkennen.

Er ist aus Dehnung und Querkontraktion bestimmbar und in den Fig. 23 bis 26 eingetragen.

Der Beitrag, den die reine Fadendehnung zu der Gesamtformänderung in diagonalen Richtung liefert, ist wie folgt zu ermitteln. Trägt man (Fig. 24) an den Seiten AB und AC eines gleichschenkligen, rechtwinkligen Dreiecks mit den Katheten 1 die gemessene Dehnung m und Querkontraktion n ab, so stellt die Hypotenuse DE

des neuen Dreiecks diejenige Fadenzahl dar, die aus der ursprünglichen BC hervorgegangen ist. Der Unterschied zwischen beiden ist die reine Fadendehnung. Sie hat die Größe

$$\sqrt{(1+m)^2 + (1-n)^2} - \sqrt{2}.$$

Sie ist in Fig. 24 mit eingetragen und erreicht dort den Maximalwert von 5,8%.

Im allgemeinen ist zu beachten, daß die in Fig. 23 bis 26 gefundenen Formänderungswerte infolge der Kürze der Belastung gemäß Versuch I kleiner sind als diejenigen, die sich an einer dauernd unter Belastung stehenden Ballonhülle herausbilden würden.

Die Werte der Bruchfestigkeit sind für die Zwecke dieser Arbeit von geringerer Bedeutung. (Zu ihrer genaueren Bestimmung hätte es wegen der unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Einspannung zahlreicher Zerreiversuche bedurft.)

Entsprechend der ziemlich gleichen Fadenzahl pro Meter zeigen Kette und Schuß annähernd gleiche Bruchfestigkeit (siehe Stoff C und D). Bei Stoff A und B scheint für die Kette ein stärkerer Faden verwendet worden zu sein.

Die Bruchgrenze in der diagonalen Richtung liegt höher als für Kette und Schuß, da beide Fadengattungen gemeinsam zum Tragen herangezogen werden. Doch ist gerade hier eine genaue Bestimmung nicht leicht, da an den Einspannstellen die Querkontraktion stark zurückgehalten und damit die Belastung des einzelnen Fadens erhöht wird (siehe Fig. 27); der Bruch erfolgt daher in der Regel zu früh.

Die gemessenen Bruchfestigkeiten unterscheiden sich von den für die Praxis maßgebenden Dauerwerten im umgekehrten Sinne wie die Formänderung: sie sind zu hoch. Die wirkliche Platzgrenze einer Hülle liegt tiefer, als den Versuchswerten entspricht. Diese Erscheinung, die bei dreifachem Stoff mit diagonalen Zwischenlage durch hier weniger interessierende Dauerversuche ausreichend klar zutage trat, ist begründet durch die innere Stoffreibung. Der Konstrukteur sollte Festigkeitszahlen, sofern sie durch kurze Zerrei- oder Zerplatzversuche ermittelt sind, nur mit diesem Vorbehalt anwenden.

Versuch III.

Die Fadendehnung.

Der einer Webspule entnommene Baumwollfaden wurde in 10 Schleifen (= 20 Fäden) um zwei Ösen gelegt, oben und unten zusammengebunden und in der Mitte mit zwei Marken (Meßlänge 500 mm) versehen (Fig. 28). An der unteren Öse wurde eine Wagschale (Eigengewicht 55 g) angehängt und durch Gewichtsstücke in regelmäßigen Stufen von je 200 g belastet. Eine Minute nach jeder Belastung wurde die Länge der Mestrecke bestimmt. Der Bruch erfolgte in der Weise, daß zunächst ein Faden ri und dann in Abständen von wenigen Sekunden die anderen folgten, ein Zeichen für die genügende Gleichmäßigkeit der Lastverteilung auf die 20 Einzelfäden.

Die Dehnungswerte von zwei solchen Versuchen, die also einen Mittelwert von 40 Fäden darstellen, sind in Fig. 29 aufgetragen. Sie zeigen in ihrem Verlauf den gleichen Charakter wie die Werte des vorigen Versuchs, jedoch mit einer etwas

größeren Annäherung an das Hookesche Gesetz. Die Bruchdehnung liegt zwischen 5 und 6% und erreicht damit die Größe des in Fig. 24 ermittelten Wertes.

Zieht man die Fadendehnung von den in Fig. 23 bis 26 für Kette und Schuß ermittelten Dehnungswerten ab, so erhält man die reine Fadenstreckung. Sie erreicht Beträge bis 10% (Stoff D, Schuß), kann aber auch sehr gering sein (Stoff C, Kette).

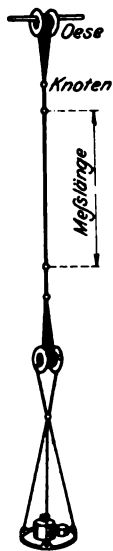


Fig. 28. Bestimmung der Fadendehnung.

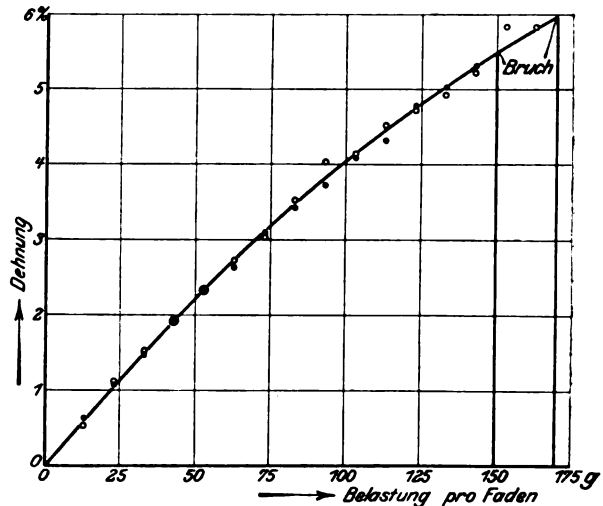


Fig. 29. Versuch III. Fadendehnung.

Versuch IV.

Die Formänderung zylindrischer Hüllen.

(Stoff D der Tabelle.)

Es wurden 7 Stoffzylinder von 80 mm Durchmesser und 300 mm Höhe angefertigt (siehe Fig. 30 bis 32 und 41). Die zu ihrem Umfang notwendigen Stoffrechtecke wurden so zugeschnitten, daß die Richtung der Kettenfäden mit der Querschnittsebene des Zylinders Winkel γ (Fig. 6 Seite 4) von 0, 15, 30, 45, 60, 75 und 90° einschloß. Der beiderseitige Abschluß erfolgte durch eingebundene gerillte Holzscheiben von 30 mm Höhe.

Die Spannungen wurden durch Wasserdruck erzeugt. Zu dem Zwecke wurde der Wasserinhalt der Zylinder durch einen Gummischlauch mit einem hochziehbaren Gefäß verbunden, so daß jeder beliebige Druck eingestellt werden konnte.

Das Spannungsverhältnis wurde durch ein bald positives, bald negatives Zusatzgewicht reguliert. Zu dem Ende konnten die Zylinder, die mit der einen Stirnseite an einem U-Eisen festgeschraubt wurden, bald stehend (Fig. 32), bald hängend (Fig. 30 und 31) verwendet werden. Im ersteren Falle erfolgte die Belastung mit Hilfe eines übergelegten Doppelhebels. Hierbei war es nicht angängig, die Längsspannung σ_2 ganz auf Null zu bringen, da dann die Zylinder keine Knickfestigkeit mehr besaßen. Vielmehr wurde die Längsspannung im Minimum auf ein

Fünftel der Querspannung gehalten. Auch hierbei war es noch nötig, die Zylinder durch leichtes seitliches Unterstützen vor dem Abknicken zu schützen.

Es wurden folgende Spannungsverhältnisse untersucht:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 0,2 \quad 0,5 \quad 1 \quad 2 \quad \text{und} \quad \infty.$$

Beim Spannungsverhältnis 0,5 wurden die Zylinder stehend verwendet ohne Zusatzbelastung, entsprechend der bekannten Beziehung, daß in einem durch Innendruck belasteten Zylinder die Längsspannung gleich der halben Querspannung ist. Das im Vergleich zu den angewendeten Wasserdrücken (7500 mm WS) sehr geringe Gewicht der oberen Holz-scheibe blieb dabei unberücksichtigt. Bei den Spannungsverhältnissen 1, 2 und ∞ wurden die Zylinder hängend untersucht unter Zuhilfenahme direkt angehängter Zusatzlasten. Beim Spannungsverhältnis ∞ (Fig. 31) wurde die Längsspannung σ_2 nur durch diese Zusatzbelastung erzeugt, während die Querspannung σ_1 durch Entleerung des Zylinders auf Null gebracht wurde.

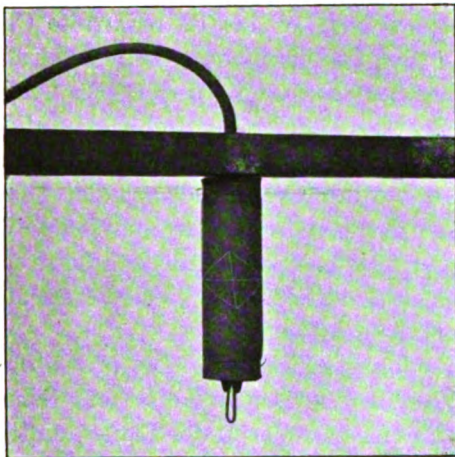


Fig. 30. Versuch IV. Stoffzylinder ohne Zusatzbelastung. $\gamma = 15$ Grad. Verdrehung. (Stoff D der Tabelle).

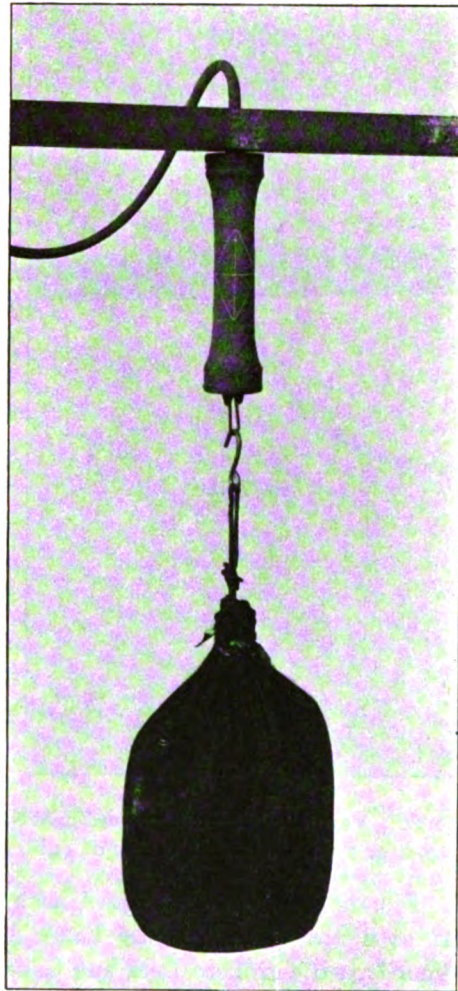


Fig. 31. Versuch IV. Positive Zusatzbelastung. $\gamma = 45$ Grad. (Stoff D der Tabelle).

Wasserdruck und Zusatzgewicht wurden stets so gewählt, daß jeweils die größere der beiden Spannungen 300 kg/m betrug.

Zur Messung wurde ein auf der Spitze stehender Rhombus mit den Diagonalen 80 und 100 mm auf der der Naht des Zylinders gegenüberliegenden Seite in Tusche

aufgetragen. Gemessen wurden mit Hilfe des biegsamen Zelluloid-Maßstabes seine Seitenlängen und Diagonalen, durch die die Durchmesserdehnung Δd , die Längskontraktion Δl und die Verdrehung φ gegeben sind.

Die Versuchswerte, die jeweils nach einer Belastung von 8 bis 10 Min. Dauer ermittelt wurden, sind in Fig. 33 bis 35 als Funktion des Anfangswinkels γ derart auf-

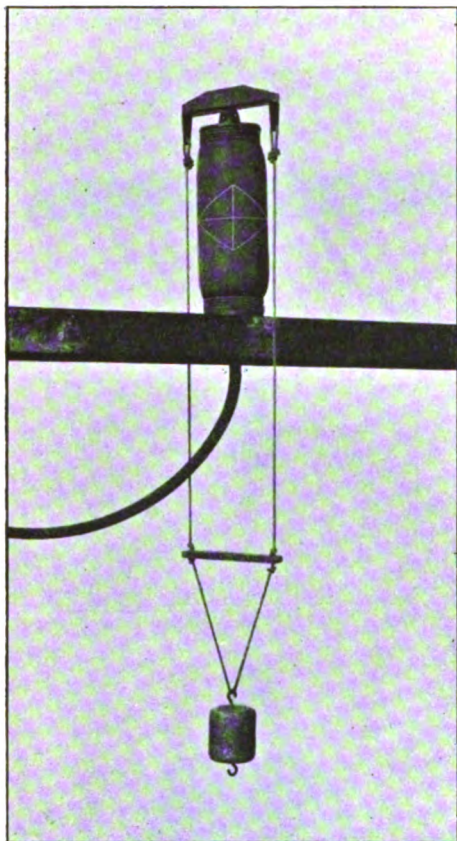


Fig. 32. Versuch IV. Negative Zusatzbelastung. $\gamma = 45$ Grad. (Stoff D d. Tab.).

getragen, daß die Punkte gleichen Spannungsverhältnisses (0,2 bis ∞) durch Kurven (a bis e) vereinigt sind. Ihre Übertragung in Flächenform ergibt Fig. 36 bis 38. Hierbei sind, um einen unmittelbaren Vergleich mit den theoretischen Werten der Fig. 10 bis 12 (Seite 6) zu ermöglichen, die Formänderungen für $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 0, 0,25, 0,75$ sowie für $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 0,25$ und $0,75$ durch Interpolation ermittelt. Außerdem ist jeweils der negative Teil der Flächen, der für Ballonhüllen nicht in Betracht kommt, von dem positiven Teil, in dem die Querspannung σ_1 stets größer oder im Grenzfall gleich der Längsspannung σ_2 ist, abgetrennt.

In den Flächen kommt deutlich der nach den Fig. 10 bis 12 erwartete Charakter der Fadenschiebung zum Ausdruck. In der absoluten Größe zeigen sich Unterschiede: Die höheren Werte bleiben infolge der elastischen Kräfte, der inneren Reibung und des Minimalraumbedarfes der Fäden gegen die theoretischen zurück; die niederen Werte sind überdeckt durch die gleichzeitig auftretende Fadenstreckung und Fadendehnung.

Die theoretischen Flächen sind symmetrisch zur 45° -Achse. Die praktischen sind es nicht. Dies ist eine Folge der Ungleichheit zwischen Kette und Schuß. Immer tritt die größere Dehnung (sei es im Durchmesser oder in der Länge) und die geringere Kontraktion in Richtung des Schusses auf. Z. B. ist die Durchmesserdehnung beim Winkel $\gamma = 90^\circ$ (Fig. 33) größer als bei $\gamma = 0$, da im ersteren Falle die Schußfäden in Richtung des Durchmessers liegen. Der größeren Dehnung des Schusses entspricht jeweils die größere Kontraktion der Kette und umgekehrt.

In Fig. 35 und 38 sehen wir bei 45° durchgehend eine positive Verdrehung. Wir haben hier die auf Seite 13 beschriebene Erscheinung, daß bei 45° durch die einseitige Wirkung der Fadenstreckung eine Verdrehung möglich ist. Der Drehsinn ist für alle Belastungsfälle der gleiche, da sowohl Längs- als auch Querspannung die Wirkung haben, daß sich die Schußfäden stärker strecken als die Kettenfäden.

Nun zeigen Fig. 35 und 38 nicht nur bei 45°, sondern auch bei 0 und 90° eine geringe Verdrehung, und zwar einmal positiv, einmal negativ. Der Grund ist folgender: Bei dem verwendeten Stoff betrug im unbelasteten Zustand, wie er von der Rolle entnommen und nach der Kettenrichtung orientiert ausgeschnitten wurde, der Winkel zwischen Kette und Schuß nicht genau 90°, sondern etwa 1 bis 2° weniger. Bei dem Versuchszylinder $\gamma = 0$ lagen damit die Schußfäden um ebenso viel zur Achse geneigt; bei der Belastung stellten sie sich in die Achsenrichtung ein und verdrehten damit den Zylinder um dieselben 1 bis 2°. Bei dem Zylinder $\gamma = 90^\circ$ war die Richtung der Kette zur Achse parallel, so daß für den Fall $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \infty$ keine Verdrehung auftreten konnte. Erst mit wachsender Querspannung trat eine Verdrehung auf, da die Schußfäden wegen ihrer Abweichung von der zur Achse senkrechten Querschnittsebene keine geschlossenen Ringe, sondern Schraubenlinien bildeten, die nun auseinander federten, bis durch die allmähliche Schrägstellung der Kettenfäden ein Gegenmoment entstand. Die Figuren zeigen deutlich das Anwachsen der Verdrehung mit steigender Querspannung.

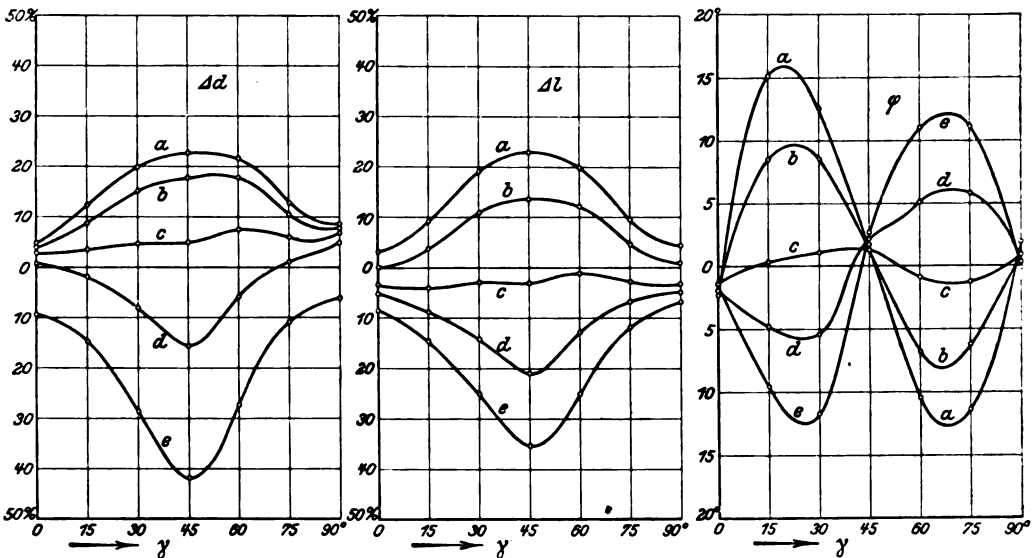


Fig. 33—35. Versuch IV. Formänderungen eines Stoffzylinders. Darstellung in Kurvenscharen. (Stoff D der Tabelle).

a	$\sigma_1 = 300$ kg/m;	$\sigma_2 = 60$ kg/m
b	„ = 300	„ = 150
c	„ = 300	„ = 300
d	„ = 150	„ = 300
e	„ = 0	„ = 300

Die den Flächen zugrunde gelegten Spannungswerte entsprechen dem ungedehnten Durchmesser der Versuchszylinder. Demgegenüber weisen die tatsächlichen Spannungen wegen der hohen Durchmesseränderungen stellenweise ganz erhebliche Abweichungen auf. Hierdurch sind die Bilder verzerrt. Wäre dies nicht der Fall, so müßte z. B. die negative Fläche der Längskontraktion der positiven

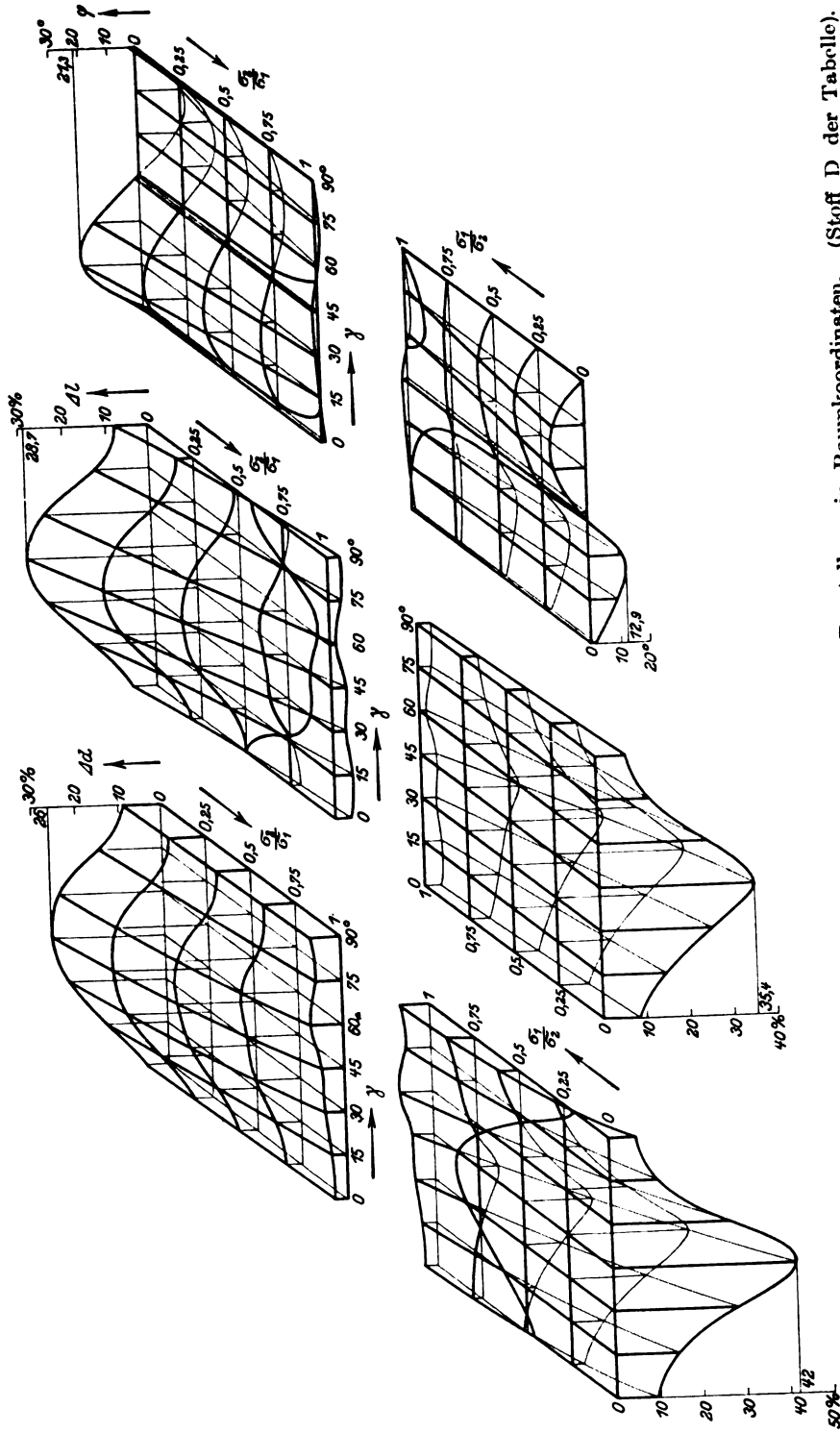


Fig. 36 bis 38. Versuch IV. Formänderungen eines Stoffzylinders. Darstellung in Raumkoordinaten. (Stoff D der Tabelle).

der Durchmesserdehnung kongruent sein und umgekehrt. Es wäre möglich, auf Grund der gemessenen Durchmesser die tatsächlichen Spannungen zu berechnen und die Kurven hiernach zu verbessern. Jedoch erübrigt sich diese auf eine umständliche Interpolation angewiesene Korrektur, da die Flächen nur als Anschauungsmittel, nicht als Rechnungsgrundlagen zur Verwendung kommen.

Mehrfache Stoffe.

Ableitung ihrer Dehnungskurven aus denen des einfachen Stoffes.

Die Formänderungseigenschaften der mehrfachen Stoffe, wie sie ausschließlich für den Hüllenbau verwendet werden, ergeben sich aus denen des einfachen Stoffes.

Wir denken uns aus dem Stoff D der Tabelle einen paralleldoublierten, einen unter 45° diagonaldoublierten und einen dreifachen Stoff (mit 2 parallelen und einer unter 45° diagonalen Lage) hergestellt und entwickeln für diese aus den Diagrammwerten der Fig. 26 die Dehnungskurven. Wir finden die jeweilige Gesamtspannung, indem wir für jeden Dehnungswert die Einzelspannungen addieren. Dies ist in Fig. 39 geschehen. Z. B. ist beim diagonaldoublierten Stoff der Spannungswert m ermittelt als Summe von $a + b$ (Fig. 26); beim dreifachen der Wert $n = 2a + b$.

Für den dreifachen Stoff sind 4 Belastungsrichtungen unterschieden. Die Bezeichnung „Kette“ und „Schuß“ entspricht derjenigen beim einfachen Stoff und bezieht sich auf die Richtung der durchgehenden Stofflagen. Die Bezeichnung „diagonal (Kette)“ bzw. „diagonal (Schuß)“ bedeutet, daß die Belastung in der Ketten- bzw. Schußrichtung der diagonalen, bei der Fabrikation in einzelnen schrägen Streifen auf die durchgehenden Bahnen aufgelegten Stofflage erfolgt. Bestehen, wie in Fig. 39 angenommen, beim diagonaldoublierten Stoff beide Lagen aus dem gleichen Stoff, so fallen je 2 der vier Belastungsrichtungen zusammen.

Die Dehnungskurven zeigen, daß die Art der Doublierung von entscheidendem Einfluß ist auf die Festigkeit und auf die Größe der Formänderungen:

Paralleldoublierter Stoff hat die doppelte Festigkeit des einfachen Stoffes. Diagonaldoublierter Stoff hat eine nur unwesentlich höhere Festigkeit als der einfache. Denn die diagonale Stofflage nimmt infolge ihrer hohen Eigendehnung nur wenig an der Spannungsaufnahme teil. Erst wenn die parallele Lage an ihrer Bruchgrenze angelangt ist, erfolgt unter einem heftigen Dehnungssprung der Übergang der Spannung auf die diagonale Lage. Diagonaldoublierter Stoff bietet also in Hinsicht auf die Festigkeit keinen lohnenden Vorteil gegenüber dem einfachen Stoff.

Paralleldoublierter Stoff hat bei Belastung unter 45° , allgemein bei schräger Belastung, die gleichbedeutend ist mit einem Auftreten von Schubkräften, eine im Verhältnis zu Kette und Schuß ebenso hohe Dehnung wie einfacher Stoff. Diagonaldoublierter dagegen weist bei Belastung durch Schubkräfte keine höhere Formänderung auf als bei Belastung durch Normalkräfte. Er ist „schubfest“. In ihm ist die Fadenschiebung, die den größten Teil aller Formänderungen ausmacht, aufgehoben. Nur Fadenstreckung und Fadendehnung kommen für seine

Formänderungen in Betracht. Diese Eigenschaft ist nahezu ebenso wichtig wie eine hohe Bruchfestigkeit.

Der dreifache Stoff vereinigt die hohe Bruchfestigkeit des paralleldoublierten mit der „Schubfestigkeit“ des diagonaldoublierten Stoffes.

In Fig. 39 unten ist das Formänderungsbild des diagonaldoublierten Stoffes durch die Darstellung seiner Querkontraktion vervollständigt. Hierbei ist zu beachten, daß schon beim einfachen Stoff infolge der Vielheit der mitwirkenden Einflüsse zu einer und derselben Dehnung eine ganz verschiedene Querkontraktion gehört, die von der Belastungsrichtung abhängig ist und nur durch den Versuch ermittelt werden kann. So ist für den Stoff D die Größe der Querkontraktion im Verhältnis zur Dehnung für Belastungen in Kette-, Schuß- und diagonaler Richtung aus Fig. 26 abgeleitet.

Beim mehrfachen, in der Querrichtung unbelasteten Stoff wird nun die Gesamtkontraktion jeweils gleich der größten Einzelkontraktion sein. Wäre dies nicht der Fall, d. h. würden sich die beiden bzw. 3 Einzelkontraktionen auf einem Mittelwert vereinigen, so würde diejenige Stofflage, die sich allein stärker zusammenziehen wollte, eine Zugbeanspruchung in der Querrichtung erfahren, die Dies aber ist unmöglich. Da

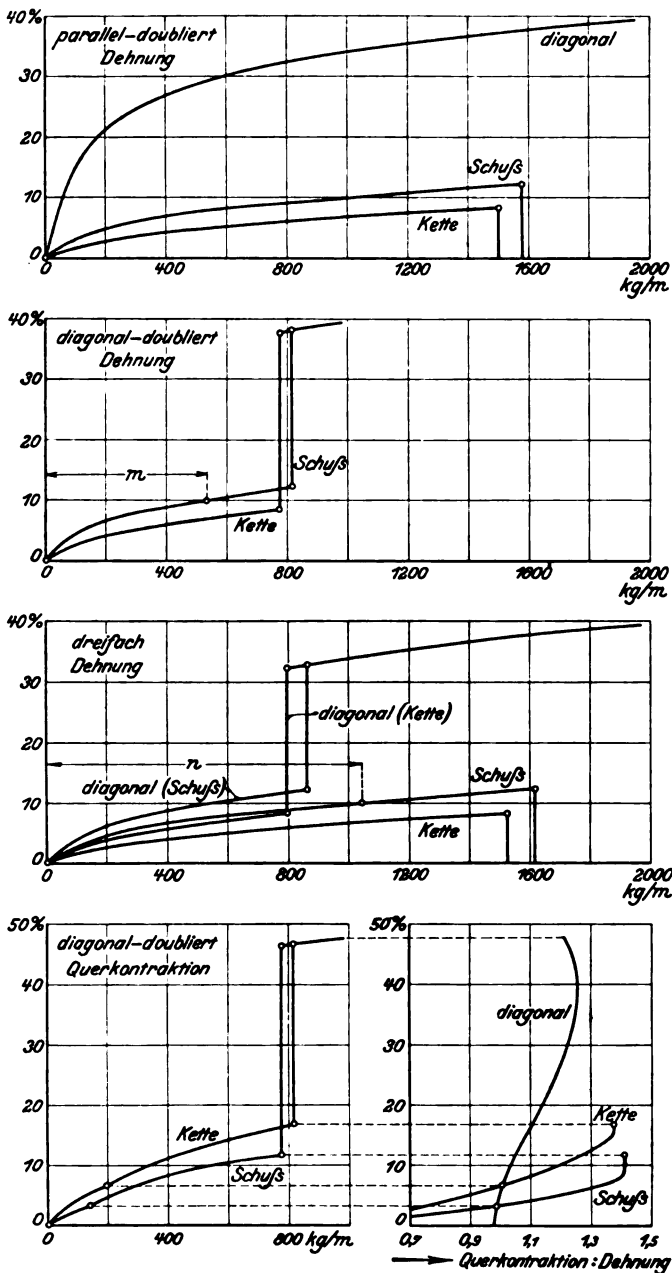


Fig. 39. Ableitung der Dehnungskurven mehrfacher Stoffe aus denen des einfachen Stoffes. (Stoff D der Tabelle).
andere mithin eine gleich große Druckbeanspruchung.

sich nun die Kurven der verhältnismäßigen Querkontraktionen gegenseitig überschneiden (Fig. 39 unten), so ergeben sich in den Kontraktionskurven der mehrfachen Stoffe Ecken, die jedoch im allgemeinen so flach sind, daß sie beim praktischen Dehnungsversuch als solche nicht bemerkt werden.

Versuch V.

Die Dehnungskurven mehrfacher Stoffe.

(Stoff E, F, G der Tabelle.)

Eine Wiederholung des Versuchs II für paralleldoublierten, diagonaldoublierten und dreifachen Stoff ergab die Diagramme Fig. 40. Die drei verwendeten Stoffe weichen sowohl von dem vorher besprochenen Stoff D der Tabelle wie auch untereinander in der Qualität ab. Jedoch zeigt sich deutlich der Charakter der in Fig. 39 aus dem einfachen Stoff entwickelten Kurven.

Besonders klar trat beim dreifachen Stoff der Dehnungssprung in die Erscheinung. In weniger als einer Minute zerriß die zwischen den beiden Hauptlagen fest eingummerte diagonale Zwischenlage auf ihrer ganzen Länge in zahlreiche kleine Stücke, so daß der Stoff im durchfallenden Licht ein gleichmäßig gesprenkeltes Aussehen erhielt.

Beim diagonaldoublierten Stoff gelang die gleiche Beobachtung nur einmal, da die Bruchgrenze der übrig bleibenden zweiten Stofflage dem Spannungssprung näher liegt und infolge der ruckweisen Zerstörung der ersten Lage zu früh erreicht wird.

Für diagonaldoublierten und dreifachen Stoff sind je einmal die Versuchspunkte mit in die Kurven eingetragen.

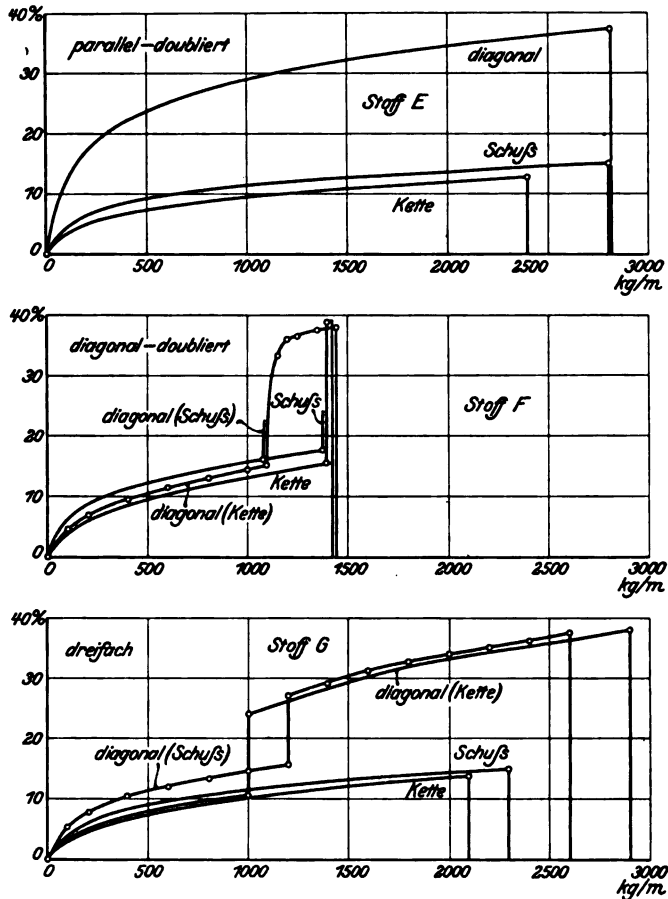


Fig. 40. Versuch V. Dehnungskurven mehrfacher Stoffe. (Stoff E, F, G der Tabelle).

Die Schubspannungen.

In den bisherigen Betrachtungen wurden alle Formänderungen auf die beiden zu einander senkrechten Normalspannungen σ_1 (quer) und σ_2 (längs) zurückgeführt; der Begriff der Schubspannungen wurde nicht verwendet. Eine gewisse Berechtigung dazu leitet sich beim einfachen Stoff daraus her, daß er Schubkräfte nicht aufnimmt, sondern ihnen ausweicht. (Diesen Begriff des Ausweichens nannten wir eben „Fadenschiebung“.) Für die Biegungsbetrachtungen an Hüllen ist nun die Einführung der Schubkraft empfehlenswert, weil damit die Übereinstimmung mit den üblichen Biegungsrechnungen des Maschinenbaus hergestellt werden kann.

Das Verhalten des einfachen Stoffes gegenüber Schubspannungen ist in gewissen Grenzen durch die Versuche über die Formänderung zylindrischer Hüllen (Seite 22) schon mitbestimmt. Denn die beiden Resultierenden R_1 und R_2 der Fig. 4 (Seite 3) können ersetzt werden durch Normalkräfte in Richtung der Fäden und Schubkräfte senkrecht dazu. Jedoch kommt das Wesentliche der Schubbeanspruchung unmittelbarer zum Ausdruck im Torsionsversuch.

Versuch VI.

Die Schiebung des einfachen und diagonaldoublierten Stoffes.

(Stoff D der Tabelle.)

Drei Stoffzylinder von 80 mm Durchmesser und 300 mm Höhe (wie bei Versuch IV) wurden in hängender Anordnung durch konstanten Wasserdruck von 7500 mm WS ohne Zusatzlast, d. h. im Spannungsverhältnis 1 : 2, belastet.

Zwei von ihnen bestanden aus dem einfachen Stoff D der Tabelle, wobei die Fadenrichtung einmal parallel zur Zylinderachse, das andere mal unter 45° geneigt war. Der dritte Zylinder wurde durch Übereinanderkleben einer parallelen und einer unter 45° geneigten Lage gleichen Stoffes hergestellt, d. h. diagonaldoubliert.

An der oberen Stirnscheibe wurde eine Sicherung gegen Verdrehung angebracht, an der unteren eine Torsionsscheibe von 160 mm Durchmesser. (Fig. 41.) Von dieser wurden tangential zwei Schnüre über Kugellagerrollen geführt und durch Bleigewichte (Einzelgewicht je 2,5 kg) bald in positivem, bald in negativem Drehsinn belastet. Und zwar wurde die Drehbelastung zunächst bis zum positiven Maximum (12,5 kg) gesteigert, dann in gleichen Abstufungen auf Null gebracht, von da ins Negative bis zum gleichen Maximum fortgesetzt und schließlich wieder ins Positive bis zur vollständigen Verdrehung unter Faltenbildung zurückgeführt.

Die Meßfigur war dieselbe wie bei Versuch IV. (Seite 23.) Die Veränderung der Drehbelastung erfolgte alle 5 Minuten. Die Ablesungen an der Meßfigur wurden immer 3 Minuten nach erfolgter Veränderung begonnen.

Die Berechnung der Schubspannung ergibt sich wie folgt: Wirken die Drehkräfte T (in kg) am Durchmesser D (in m), und ist d (in m) der jeweilige Durch-

messer des Stoffzylinders an der Meßstelle, so ist die Schubspannung in kg/m

$$\tau = \frac{2 T \cdot \frac{D}{d}}{\pi \cdot d}.$$

d ergibt sich aus dem Anfangsdurchmesser von 80 mm unter Berücksichtigung der gemessenen Dehnung.

D = Scheibendurchmesser + Schnurdurchmesser = 161,7 mm. Der Einfluß der der Meßfigur gegenüberliegenden Stoffnaht wurde wie bei Versuch IV vernachlässigt.

In Fig. 42 sind die Tangenten des Schiebungswinkels φ , d. h. die Schiebungen als Funktion der Schubspannungen aufgetragen. Die Kurven zeigen den Charakter einer ausgesprochenen Hysterisis, wie er schon in Fig. 20 ausgedrückt und begründet ist. Begriffe wie Remanenz, Koerzitivkraft, jungfräuliche Kurve können sinngemäß aus den magnetischen Eisenuntersuchungen übertragen werden.

Der Unterschied zwischen parallel und diagonal liegendem einfachen Stoff ist in die Augen springend. Der erstere reagiert auf die Schubkraft vornehmlich durch Fadenschiebung, der letztere nur durch Fadestreckung und Fadendehnung. Der geringen Dehnung in Fig. 26 (Seite 19) entspricht also hier die hohe Schiebung und umgekehrt.

Damit ist für den diagonaldoublierten Stoff zu erwarten, daß er ungefähr dasselbe Torsionsbild zeigt wie der diagonal liegende einfache Stoff, da der Anteil des parallelen Stoffes an der Spannungsaufnahme nur gering ist.

Die Versuchswerte zeigen in der Tat eine Verdrehung, die der Größe nach weit eher dem diagonal liegenden als dem parallel liegenden einfachen Stoff entspricht. Jedoch ist die Verdrehung größer als beim diagonalen einfachen Stoff, während man eher etwas geringere Werte erwartet.

Der Grund für diese Abweichung liegt in dem Nebenumstand der Durchmesserdehnung. Zur Beurteilung sind in Fig. 42 die Durchmesser d und die Meßfigurhöhen h in mm eingetragen. Der einfache diagonal liegende Stoff hat eine höhere Durchmesserdehnung als der doublierte, bei dem sie durch die parallele Lage begrenzt ist.

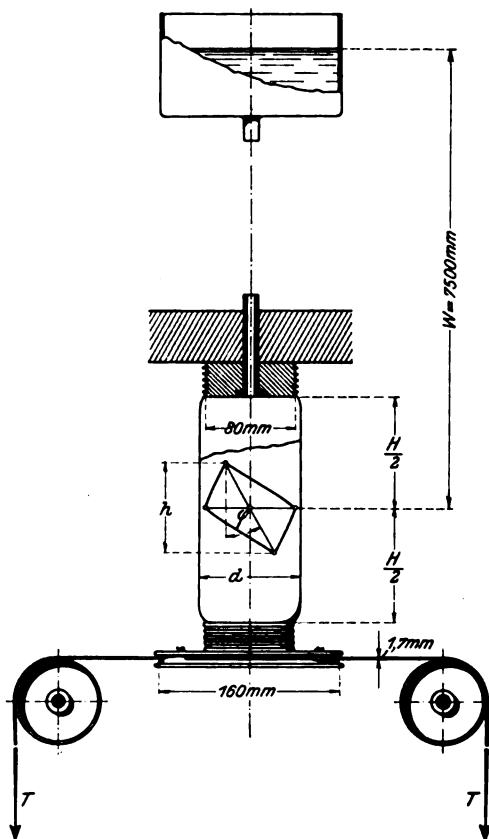


Fig. 41. Torsionsversuch.

Die Durchmesserdehnung wirkt nun torsionsvermindernd aus folgendem Grunde: Die Verdrehung entsteht durch die Verlängerung der einen, die Verkürzung der anderen Diagonalfaser. Bei kleinem Durchmesser ist die durch den Innendruck erzeugte Vorspannung beider Fasern gering. Die durch die Schubkraft hervorgerufene Belastung der einen, Entlastung der anderen Faser hat daher größere Dehnung bzw. Kontraktion zur Folge als bei größerem Durchmesser, bei dem die stark vorgedehnten Fasern entsprechend dem Charakter der Dehnungskurve (Fig. 20) nur geringe zusätzliche Formänderungen gestatten.

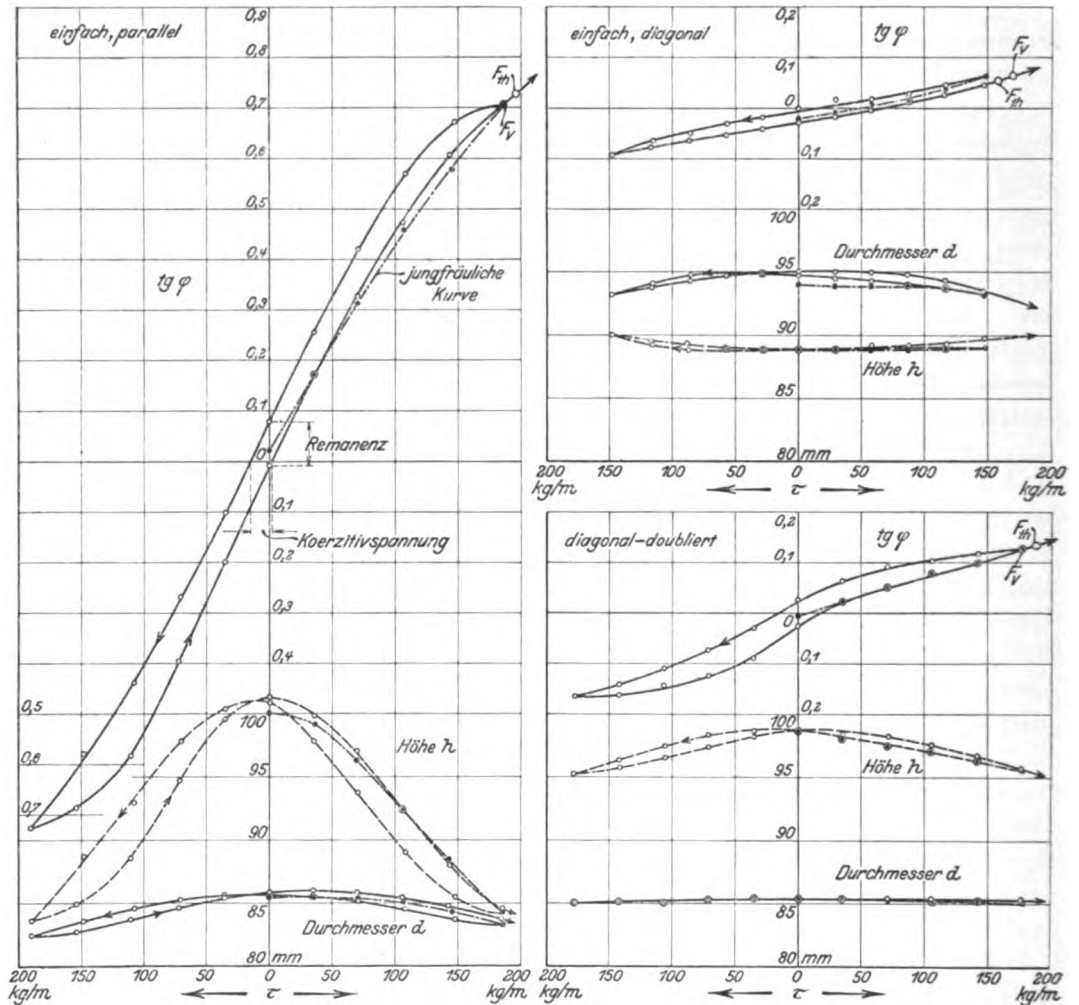


Fig. 42. Versuch VI. Schiebung des einfachen und diagonaldoublierten Stoffes. (Stoff D der Tabelle).

Es ist schwer, für die Verdrehung des diagonaldoublierten und des diagonal liegenden einfachen Stoffes genau gleiche Versuchsbedingungen zu erzielen. Man müßte (z. B. durch zahlreiche unzusammenhängende Ringe) die Durchmesserdehnung verhindern, ohne die Torsion zu beeinflussen. Von einer solchen Maß-

nahme konnte an dieser Stelle abgesehen werden, da es nur darauf ankam, den Wert der diagonalen Lage gegenüber der parallelen für die Verdrehung zu zeigen.

Die drei Drehversuche sind jeweils bis zum Maximum der Drehspannungen durchgeführt. Dieses Maximum ist abhängig von den beiden Normalspannungen σ_1 und σ_2 des Stoffzylinders nach der Formel:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\sigma_1 \cdot \sigma_2}.$$

Die allgemeine Ableitung dieser Beziehung folgt später (Seite 60) im Zusammenhang mit der Spannungsberechnung an der Hülle. Für den Fall des idealen Netzgefüges wird sie auf folgende Weise gefunden:

In Fig. 43 sei $\alpha = \beta$ der Winkel der Fäden zur Zylinderachse. Offenbar wird sich, solange kein Drehmoment auftritt, die Längsspannung σ_2 zu gleichen Teilen auf die beiden Fadenrichtungen verteilen, wobei die Fäden sich in die Richtung der Resultierenden aus σ_1 und σ_2 einstellen. (Dieser Spannungszustand ist durch die schraffierten Kräfterechtecke angedeutet.) Kommt nun eine Torsionsspannung hinzu, so wird die eine Fadengattung weiter belastet, die andere dagegen entlastet. Die Winkel werden dabei nicht geändert. Bei einer bestimmten Schubspannung ist nun der eine Faden völlig entlastet. Wächst die Schubspannung weiter, so müßte zu ihrer Aufnahme der entspannte Faden eine Druckspannung erfahren, was unmöglich ist. Es bilden sich daher Falten. Der Zylinder schnürt sich hyperboloidförmig ein; das Gleichgewicht der Kräfte wird labil; die Verdrehung geht unter Herauspressung des Wasserinhaltes bis zur vollständigen Zusammenschnürung weiter.

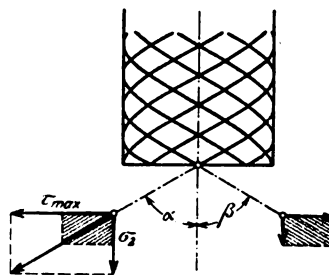


Fig. 43. Die kritische Drehspannung beim reibungslosen Netzgefüge.

Die kritische Schubspannung τ_{\max} ist also gegeben durch die Winkelbeziehung:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_2}.$$

Nun ist nach Gleichung 1 (Seite 3):

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$$

oder in unserem Falle der Winkelgleichheit:

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_2}}.$$

Daraus ergibt sich:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_2}} \cdot \sigma_2 = \sqrt{\sigma_1 \cdot \sigma_2}.$$

Hiernach berechnet sich für den vorliegenden Versuch (Fig. 41, 42) die kritische Schubspannung wie folgt: Da die Faltenbildung an der Stelle der kleinsten Normalspannungen, d. h. an der oberen Einspannstelle eintreten muß, ist als

Zylinderdurchmesser nicht viel mehr als 80 mm einzusetzen. Der für die Querspannung σ_1 maßgebende Wasserdruck an der oberen Einspannstelle betrug $W - \frac{H}{2}$, wo $\frac{H}{2}$ eine Funktion der Längskontraktion, im Mittel ca. 110 mm. Somit:

$$\sigma_1 \cong (7500 - 110) \cdot 0,04 = 296 \text{ kg/m.}$$

Die Längsspannung ergibt sich durch den Druck $W + \frac{H}{2}$ + dem auf Druck reduziertem Gewicht der Torsionsscheibe, im Mittel $7500 + 110 + 75$ mm, zu:

$$\sigma_2 \cong 7685 \cdot \frac{0,04}{2} = 154 \text{ kg/m.}$$

Somit beträgt die kritische Schubspannung an der Einspannstelle:

$$\tau_{\max} \cong \sqrt{296 \cdot 154} = 214 \text{ kg/m.}$$

Die gleichzeitig auftretende Schubspannung τ an der Meßfigur findet sich aus τ_{\max} durch Reduktion mit dem Durchmesserquadrat. Z. B. ist für den parallelen einfachen Stoff:

$$\tau \cong 214 \cdot \left(\frac{80}{83,5}\right)^2 = 196 \text{ kg/m.}$$

Diese theoretischen Grenzwerte der Faltenbildung F_{th} sind in Fig. 42 eingetragen, ebenso die beim Versuch beobachteten F_v , die naturgemäß als Übergangswerte nicht allzu scharf zu erkennen sind und der persönlichen Beurteilung einen gewissen Spielraum lassen. Die Übereinstimmung ist trotzdem eine genügende.

Die Formänderung einer Hülle aus paralleldoubliertem Stoff.

Nunmehr kann das Bild, das wir uns im Versuch IV (Seite 22) von einer Hülle aus einfachem bzw. paralleldoubliertem Stoff bezüglich ihrer Durchmesserdehnung, Längskontraktion und Verdrehung gemacht haben, bezüglich ihrer Verbiegung vervollständigt werden. Hierzu ist aus dem Späteren vorweg zu nehmen, daß jeder Hüllenquerschnitt unter dem Einfluß von Biegungs- und Schubkräften steht.

Fig. 44 zeigt in schematischer Form einen Ballon mit einer lotrecht aufgehängten Gondel sowie seinen Momente und Schubkraftkurve.

Liegt der Stoff parallel zur Hüllennachse, so erfährt die Hülle zunächst nach Fig. 36 bis 38 (Seite 26) eine geringe Durchmesserdehnung, eine geringe Längskontraktion und keine Verdrehung. Die Momente erzeugen nun Biegungsspannungen, die die Hüllennachse nach den Enden zu aufbiegen. Da diese Biegung jedoch nur durch Fadenstreckung und Fadendehnung erfolgen kann, bleibt sie in geringen Grenzen. Im Gegensatz dazu bewirken die Schubkräfte eine große Winkeländerung des parallelen Stoffes. (Siehe Fig. 42 links, Seite 32).

Liegt der Stoff unter 45° diagonal, so erfährt die Hülle zunächst nach Fig. 36 bis 38 eine sehr große Durchmesserdehnung und Längskontraktion und keine bzw. nur geringe (siehe Seite 13) Verdrehung. Auf die Biegungskräfte reagiert der diagonale Stoff nun durch Fadenschiebung, indem die Winkel seines Netzgefüges nach oben hin spitzer, nach unten hin stumpfer werden. Es resultiert eine hohe

Aufbiegung der Enden. Die Formänderung der elastischen Linie durch die Schubkräfte dagegen ist gering, da sie nur durch Fadenstreckung und Faden-
dehnung zustande kommt.

Die Hülle erfährt also in beiden Fällen eine unzulässig hohe Verbiegung, nur mit dem Unterschied, daß sie bei parallelem Stoff ihren Hauptgrund in den Schubkräften, bei diagonalem in den Biegunsmomenten hat.

Weder parallel noch diagonal liegender einfacher bzw. paralleldoublierter Stoff ist aus diesem Grunde für die Hüllen unstarrer Schiffe vorteilhaft. Es ist zwar denkbar, durch negative Formgebung beliebig große Krümmungen der Achse aufzuheben; ebenso wie es möglich ist, durch vorherige Berücksichtigung der Dehnung und Längskontraktion Durchmesser und Länge von ganz bestimmter Größe zu erzielen. Jedoch würde damit den Bedingungen des Fahrbetriebes noch nicht genügt sein, der eine Reihe von erheblichen Biegungs- und Schubkräften (Ruder, Böen) mit sich bringt. Die Hülle würde auf diese Momentankräfte durch starke Verbiegungen reagieren und damit die Steuerfähigkeit vermindern. Im Falle des diagonal liegenden Stoffes käme als weiterer Übelstand hinzu, daß sie bei den während der Fahrt unvermeidlichen Schwankungen des Gasdrucks (Steigen, Fallen, Bestrahlung) in unzulässiger Weise „atmen“, d. h. Durchmesser und Länge verändern würde.

Wie peinlich der Konstrukteur die geschilderten Eigenschaften des paralleldoublierten Stoffes beachten muß, zeigt der französische Luftschiff-

bau, der mit Vorliebe paralleldoublierten Stoff verwendet. Die Figuren 45 und 46 geben die beiden Schiffe „Clément Bayard“ und „Adjutant Reau“ wieder. Durch eine lange Gondel sind zunächst die Biegunsmomente und Schubkräfte der Hülle stark

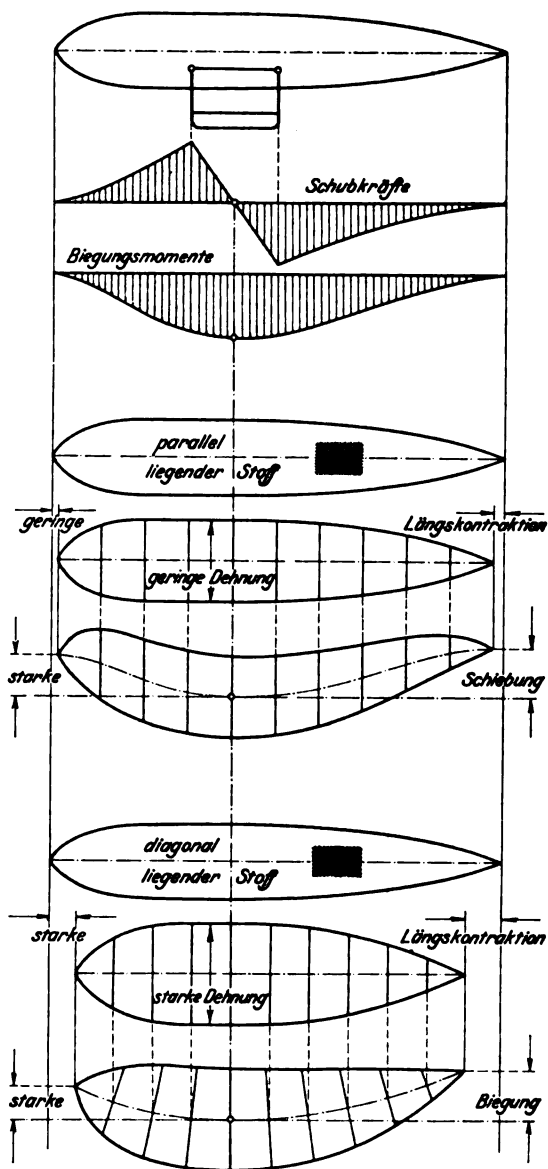


Fig. 44. Die Formänderungen einer Hülle aus einfachem oder paralleldoubliertem Stoff.

vermindert. (Halbstarre Bauart.) Geht man hierin nicht weit genug (Clement Bayard, Vorderteil), so tritt eine schon für das Auge unangenehme Schiebung ein. Die Hülle des „Adjutant Reau“ ist besonders durchdacht: Die Spitze ist aus einer

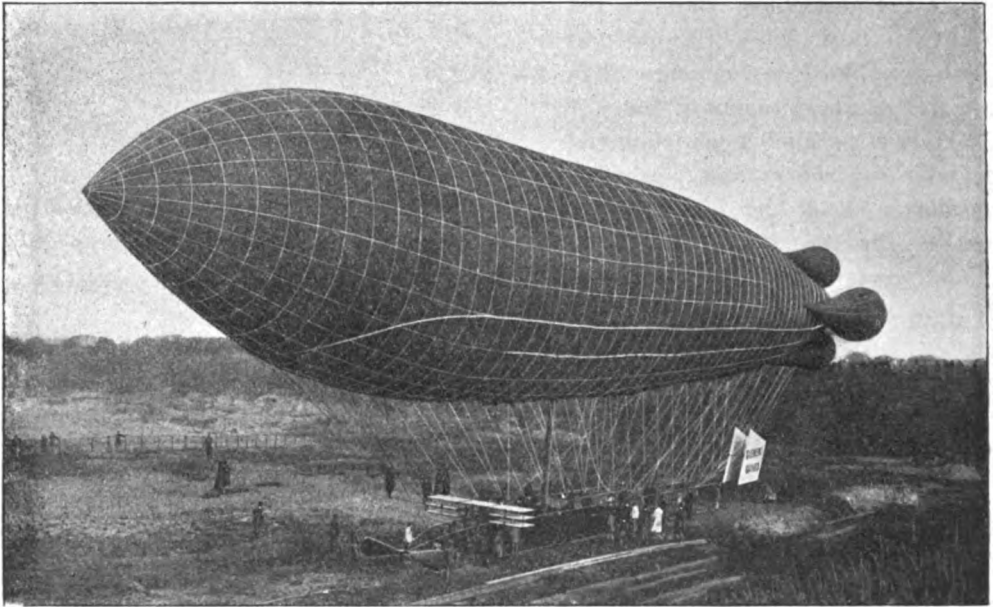


Fig. 45. „Clément Bayard“. Kopf durch Schiebung gehoben.

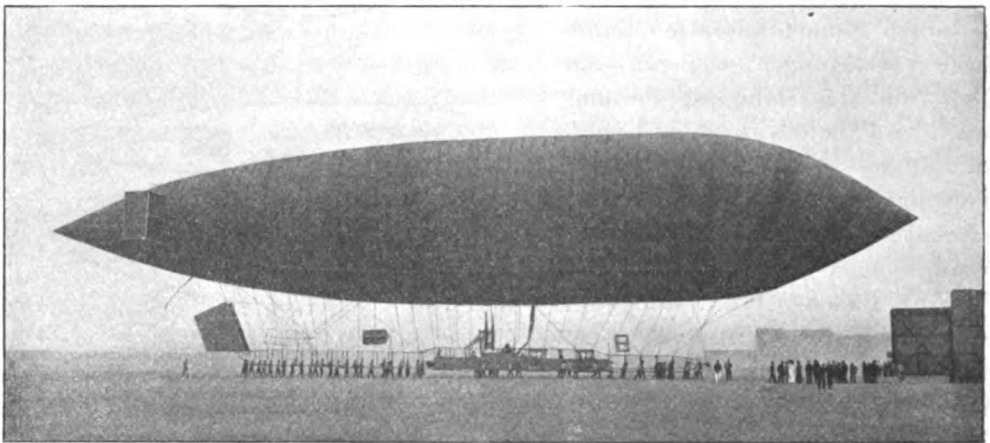


Fig. 46. „Adjutant Reau“. Schräger Zuschnitt der Stoffbahnen.

zusammengeklappten Viertelkugel hergestellt, was zur Folge hat, daß an dieser Stelle, wo wegen der Kürze der Hebelarme die Wirkung der Biegemomente durch die der Schubkräfte überwogen wird, die Stoffrichtung von der parallelen

allmählich zur diagonalen übergeht. Dadurch wird das Minimum der Aufbiegung erzielt. Entsprechend ist am Hinterende des Schiffes eine allmähliche Neigung der Stoffrichtung mit dem gleichen Erfolg durchgeführt.

Die Formänderung einer Hülle aus diagonaldoubliertem Stoff.

Für unstarre Schiffe, deren Hüllen große Momente und Schubkräfte aufnehmen müssen, ist nur diagonaldoublierter Stoff verwendbar (wobei jeder Stoff diagonaldoubliert genannt werden soll, der mindestens eine diagonale Lage enthält). Denn gegen erhebliche Veränderung der elastischen Linie durch Biegungskräfte schützt ihn seine parallele, durch Schubkräfte seine diagonale Stofflage. Seine Durchmesserdehnung und Längskontraktion ist gering, vor allem dann, wenn man bei der Auswahl des Stoffes darauf achtet, daß die Schußdehnung möglichst nicht höher ist als die Kettendehnung.

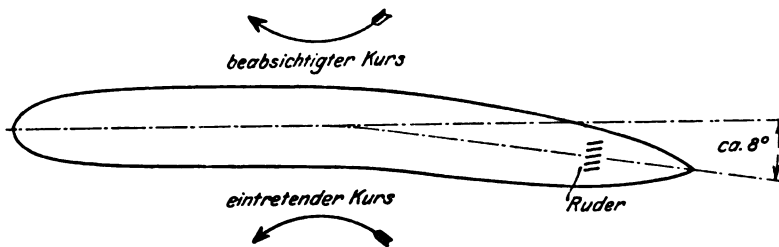


Fig. 47. Verbiegung durch Ruderdruck.

Daß selbst die an sich geringeren Verbiegungen des Diagonalstoffes unter Umständen das für den Fahrbetrieb zulässige Maß übersteigen können, trat bei der ersten Hülle des Siemens-Schuckert-Ballons, des ausgeprägtesten Vertreters der unstarren Bauart, zutage: Bei voller Maschinenkraft und starkem Ruderlegen bog sich die Hülle, wie bei dem zufälligen Überfahren einer spiegelnden Wasseroberfläche vom Schiff selbst aus beobachtet wurde, um schätzungsweise bis 8° ab (siehe Fig. 47). (Über diesen Wert hinaus trat Faltenbildung ein.) Durch diese starke Verbiegung erfolgte eine Kurvenführung des Schiffes entgegen dem beabsichtigten Kurs, die bei böigem Wetter die dauernde Einsetzung der vollen Maschinenleistung unmöglich machte. (Das Bild ist aus der Erinnerung skizziert, da eine gute Photographie leider nicht vorliegt.)

B. Die Versuchsunterlagen für die praktische Vorausbestimmung der Hüllenformänderung.

Nächst den bisher besprochenen, grundsätzlichen Unterschieden, die zwischen den Stoffgattungen (paralleldoubliert, diagonaldoubliert, dreifach) hinsichtlich ihrer Dehnungseigenschaften bestehen, gibt es innerhalb jeder Gattung je nach Fadenstärke, Fadenzahl, Vorspannung bei der Fabrikation usw. Qualitätsunterschiede (siehe Fig. 23 bis 26). Daher ist es für die Vorausbestimmung der Hüllen-

formänderung nötig, von Fall zu Fall die „Charakteristik“ des gewählten Stoffes durch Versuche festzustellen. Es fragt sich hierbei:

Welche Feststellungen sind nötig und ausreichend, um den Stoff hinsichtlich seiner Dehnungseigenschaften vollständig zu charakterisieren?

Und:

Durch welche Versuche werden sie zweckmäßig gewonnen?

Wir bringen an einem in der Achsenrichtung aus der Hülle ausgeschnittenen quadratischen Stoffelement die im allgemeinsten Falle wirkenden Spannungen an. Diese sind: Die Normalspannungen σ_1 und σ_2 , und die Schubspannungen τ . Dann ist das Verhalten des Stoffes vollständig charakterisiert, wenn wir die Längenänderung seiner Seiten und seine Winkeländerung kennen. Diejenige zeichnerische Darstellung nun, welche das Verhältnis der Längenänderungen zu den Normalspannungen zeigt, nennen wir die

Normalcharakteristik,

diejenige, welche das Verhältnis der Winkeländerung zu den Schubspannungen zeigt, die

Schubcharakteristik.

Die Normalcharakteristik.

Bei den homogenen Baustoffen des Maschinenbaus ist es nach dem Superpositionsgesetz möglich, aus jeder der beiden Normalspannungen die ihr entsprechende Dehnung und Querkontraktion ohne Rücksicht auf die andere zu bestimmen und hinterher die Gesamtdehnung als algebraische Summe der Einzeldehnungen zu berechnen. D. h. es genügt zur Normalcharakteristik eine einzige Dehnungskurve sowie die Kenntnis des konstanten Verhältnisses zwischen Dehnung und Kontraktion. Da die Dehnungskurve in den Grenzen der praktischen Anwendung geradlinig ist (Hookesches Gesetz), so kann sie sogar ersetzt werden durch eine einzige Zahl, nämlich den Neigungswinkel dieser Geraden. (Dehnungskoeffizient.)

Daß beim Ballonstoff ein solcher Ersatz nicht möglich ist, zeigte schon Versuch II (Seite 18 u. 19). Weiterhin ist das Verhältnis zwischen der Dehnung in der einen und der gleichzeitig auftretenden Kontraktion in der dazu senkrechten Richtung nicht konstant. (Siehe Fig. 39 unten, Seite 28.) Die Normalcharakteristik erfordert also zwei Diagramme, für jede Hauptrichtung eines.

Ferner gilt, wie wir später sehen werden, das Superpositionsgesetz nicht, d. h. die Formänderungen durch die Querspannung sind abhängig von der gleichzeitig herrschenden Längsspannung und umgekehrt. Jedes der beiden Diagramme läßt sich also nicht durch eine einzige Kurve erschöpfen, sondern erst durch eine Kurvenschar oder Fläche, innerhalb deren jede Einzelkurve den Dehnungsverlauf bei wachsender Querspannung und konstanter Längsspannung (oder umgekehrt) darstellt. Die Normalcharakteristik des Ballonstoffes besteht also aus zwei Kurvenscharen.

Die Schubcharakteristik.

Ganz Ähnliches finden wir bei der Schubcharakteristik. Bei den Baustoffen des Maschinenbaus genügt eine einzige Zahl, der Schubkoeffizient. Daß beim Ballonstoff diese Zahl durch eine Kurve zu ersetzen ist, weil das Hookesche Gesetz auch für Schub nur mit gewisser Annäherung gilt, zeigt schon Versuch VI (Seite 32). Er zeigt ferner, daß der Schub abhängig ist von den Normalspannungen. Wäre er nun allein abhängig von einer der beiden Normalspannungen, so würde an Stelle der einen Kurve wie bei der Normalcharakteristik eine Kurvenschar bzw. eine Fläche treten. Da er aber von beiden abhängig ist, so erfordert die Schubcharakteristik eine Schar von Kurvenscharen bzw. eine Flächenschar. Eine solche kann z. B. aus Flächen gleicher Schubspannung gebildet werden, innerhalb deren sich die Normalspannungen längs und quer ändern.

Wegen der Ungleichheit von Kette und Schuß ist es erforderlich, die Schubcharakteristik nach beiden Richtungen hin aufzustellen. Dem entspricht beim Torsionsversuch der positive und negative Ast der Hysteresisschleife.

Nachdem der Schub abhängig ist von den beiden Normalspannungen, fragt es sich, ob nicht umgekehrt Dehnung und Kontraktion abhängig sind von etwa gleichzeitig auftretenden Schubspannungen. In diesem Falle würden wir auch für die Normalcharakteristik an Stelle der beiden Flächen Flächenscharen setzen müssen. Wie wir später sehen werden, ist nun innerhalb der praktischen Verwendungsgrenzen der Einfluß der Schubspannungen auf Dehnung und Kontraktion unbedeutend, so daß sich die getroffene Vereinfachung rechtfertigt, umso mehr, als sie zur Vermeidung allzu weitschweifiger Rechnungen geboten ist. Aus dem letzteren Grunde werden wir uns später veranlaßt sehen, ebenfalls die Schubcharakteristik durch eine Vereinfachung auf eine einzige Fläche zurückzuführen.

Methoden zur Ermittlung der Normalcharakteristik.

Die Versuchsanordnung zur Feststellung der Normalcharakteristik ergibt sich aus der gestellten Aufgabe: Es soll der Stoff in seinen beiden Hauptrichtungen gleichzeitig beliebig belastet und seine Längenänderung in beiden Richtungen gemessen werden.

Diese Doppelbelastung kann entweder durch Innendruck und Zusatzbelastung eines Stoffzylinders, wie bei Versuch IV (Seite 23), oder durch reine Gewichtbelastung eines kreuzförmigen, ebenen Stoffstückes erfolgen. Letztere Anordnung hat den Vorteil der Einfachheit und des Wegfalls von Korrekturen. (Seite 25 unten). Sie ist nichts anderes als die zweidimensionale Ausführung des Normalstreifens. (Versuche II und V.)

Jede Einzelmessung liefert für die beiden Kurvenscharen der Normalcharakteristik je einen Versuchspunkt. Mit Rücksicht darauf lassen sich 3 Methoden unterscheiden:

1. Man kann sämtliche Versuchspunkte der beiden Kurvenscharen hintereinander an einem einzigen Stoffkreuz bestimmen.
2. Man kann jede Einzelkurve der Kurvenscharen an einem besonderen Stoffkreuz aufnehmen.

3. Man kann jedem einzelnen Versuchspunkte sein eigenes Stoffkreuz zuteilen.

Die Auswahl der geeignetsten Methode wird bestimmt durch die Bedingung, daß der Einfluß der Langsamkeit der Formänderung (siehe Versuch I, Seite 15) möglichst ausgeschaltet werden soll. Hiernach ist die dritte Methode weitaus die beste. Sie schließt eine gegenseitige Beeinflussung der Versuchspunkte aus und gestattet ohne übermäßigen Zeitaufwand die Ausdehnung des Versuches auf beliebige Dauer, wobei eine jederzeitige Kontrolle darüber möglich ist, ob die Versuchsdauer genügt oder noch verlängert werden muß. Ein kleiner, bei der Größe der Ballonhüllen nicht ins Gewicht fallender Nachteil ist ihr größerer Stoffbedarf. Aber gerade dieser bringt einen weiteren Vorzug mit sich: die Möglichkeit, den Stoff auf seine Gleichmäßigkeit zu beurteilen, insofern als die zahlreichen, räumlich verschiedenen Meßstellen die Mittelwerte mit größerer Sicherheit ergeben und Ausnahmewerte als solche erkennen lassen.

Während bei der dritten Methode alle Versuchspunkte zeitlich parallel geschaltet sind, stellen die erste und zweite eine vollständige bzw. teilweise Hintereinanderschaltung dar. Daraus folgt, daß die Zeitdauer für den Einzelpunkt nicht annähernd so weit ausgedehnt werden kann, wie bei der dritten Methode, soll anders der Versuch nicht Monate in Anspruch nehmen. Daraus wiederum ergibt sich die störende Erscheinung, daß jeder Versuchspunkt vom vorherigen beeinflusst wird. Es muß nun durch die zeitliche Gruppierung der Punkte diese Störung auf ein Minimum gebracht werden. Hier beginnt dann die Unsicherheit, der Spielraum der persönlichen Interpolation. Die Art und Weise dieser Interpolation ist bei der Beschreibung des Versuches VII angegeben.

Die Methode zur Ermittlung der Schubcharakteristik.

Die Schubcharakteristik läßt sich am besten aus Torsionsversuchen nach Art des Versuches VI (Seite 31) feststellen. Soll der Schub bei m verschiedenen Quer- und n verschiedenen Längsspannungen bestimmt werden, so sind $m \cdot n$ Hysteresisschleifen aufzunehmen. Die gesuchten Dauerwerte des Schubes sind aus den Momentanwerten der Versuche unter Berücksichtigung der Remanenz zu bestimmen.

Auch hier kann man entweder alle Hysteresisschleifen ρn in einem und demselben Stoffzylinder bestimmen oder an mehreren. Jedoch ist hier die Notwendigkeit der Vielheit nicht so zwingend wie bei der Normalcharakteristik, weil jeweils der Dauerwert der Schiebung nicht durch die Länge der Belastung erhalten wird, sondern aus der Mittelkurve der Hysteresisschleife hervorgeht.

Versuch VII.

Die Normalcharakteristik eines diagonaldoublierten Stoffes.

„Einzelkreuzmethode.“

(Stoff F der Tabelle.)

Fig. 48 bis 50 zeigen die Versuchsanordnung:

Ein Stoffkreuz von quadratischer Mittelfläche ist mit seinen vier schlaufenförmig umgenähten Schenkeln von je 250 mm Breite in einem aus Blech und Winkeln

gebauten Rahmen horizontal eingespannt. An zwei Schenkeln A und B wird unter Zuhilfenahme je eines ungleicharmigen Hebels U (Armverhältnis 1 : 2) durch angehängte Sandsackbelastung Längs- und Querspannung erzeugt. Die den Hebeln gegenüberliegenden Punkte C und D sind fest. Jedoch sind sowohl an den Hebeln als auch an den Festpunkten Stellschrauben angebracht, deren Gesamthub etwas größer ist als die voraussichtliche Stoffdehnung, so daß es möglich ist, bei jeder beliebigen Formänderung den Mittelpunkt des Kreuzes M im Achsenschnittpunkt des Rahmens und die Hebel U in horizontaler Stellung zu erhalten.

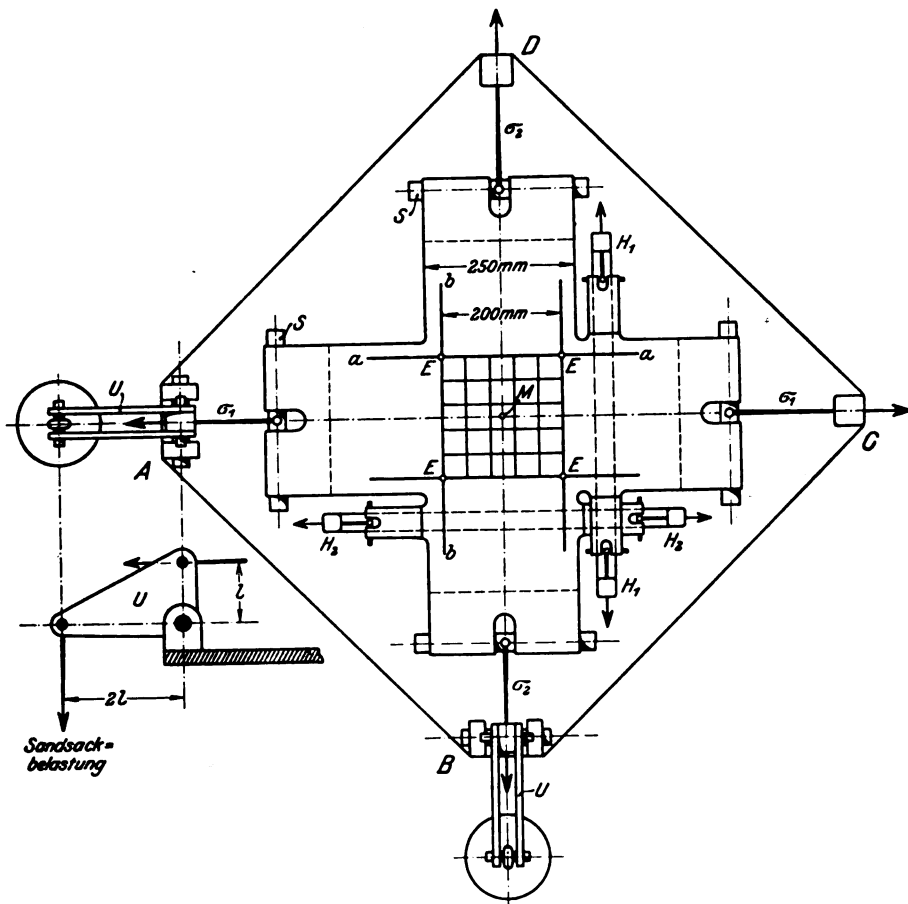


Fig. 48. Versuchsanordnung beim „Einzelkreuz-Versuch“.

Die Meßfigur ist ein quadratisches Liniennetz von der Seitenlänge 200 mm. Sie wurde in feinen Tuschestrichen aufgetragen. Für die Wiedergabe (Fig. 49 und 50) ist sie mit weißer Farbe stark überdeckt, da die photographische Platte den Kontrast schwarzer Linien auf dem gelben Stoff fast nicht zum Ausdruck bringt. (Das gleiche Verfahren wurde bei allen übrigen Photographien angewendet.)

Der gleichmäßigen Spannungsverteilung über die Schenkelbreite von 250 mm dienen die in die Schlaufen eingesteckten, in der Mitte durch einen Bolzen drehbar gefaßten Stahlrohre S, deren Eigendurchbiegung bei den angewandten Kräften

noch unmerklich ist, so daß die Dehnung der Stoffschenkel über ihre ganze Breite konstant ist. Jedoch wird dadurch der erstrebte Zweck der Gleichförmigkeit noch nicht vollkommen erreicht. Denn an den vier Ecken E der Mittelfläche tritt eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Dehnungen dadurch ein, daß die von der einen Seite kommenden Spannungen σ_1 bzw. σ_2 nicht geradlinig nach der gegenüber-

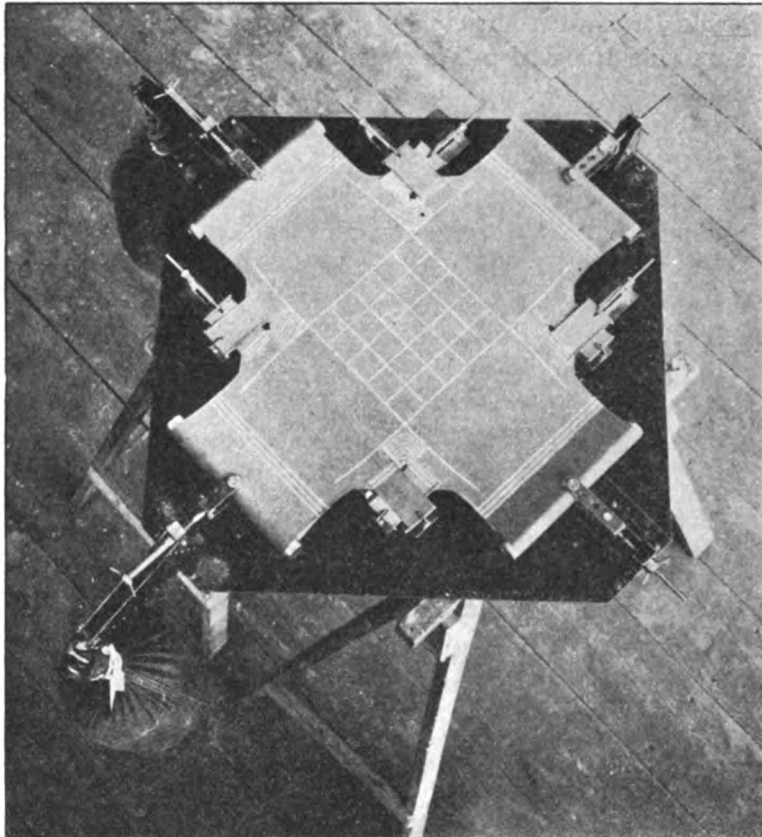


Fig. 49. Versuch VII. Normalcharakteristik. Einzelkreuz-Versuch.
Ansicht von oben. (Stoff F der Tabelle).

liegenden Seite übergeleitet werden, sondern infolge der Schubfestigkeit des Stoffes in die benachbarten Schenkel übertreten. (Fig. 51.) Dadurch wird die Meßfigur an den Ecken entlastet und geht vom Rechteck in eine Tonnenform über. Die Spannungsverteilung entspricht also in Fig. 51 nicht mehr dem Rechteck 1-2-3-4, sondern der schraffierten Fläche.

Die Korrektur dieser störenden Nebenerscheinung ist auf verschiedene Weise möglich. Beim vorliegenden Versuch ist sie dadurch erfolgt, daß neben der durch Hebel und Gewichte wirkenden Hauptspannvorrichtung vier mit Spannschrauben ausgebildete „Hilfsspanner“ H_1 , H_2 verwendet werden, um die der Mittelfläche benachbarten Teile der Schenkel ihrer Breite nach auseinanderzuziehen. (In Fig. 48 sind nur 2 Hilfsspanner eingezeichnet.) Sie sind stets so weit anzuspannen,

daß die über die Eckpunkte E verlängerten Seiten a—a, b—b der Meßfigur gerade Linien bilden. Denn in diesem Falle ist die Querdehnung der Schenkel gleich

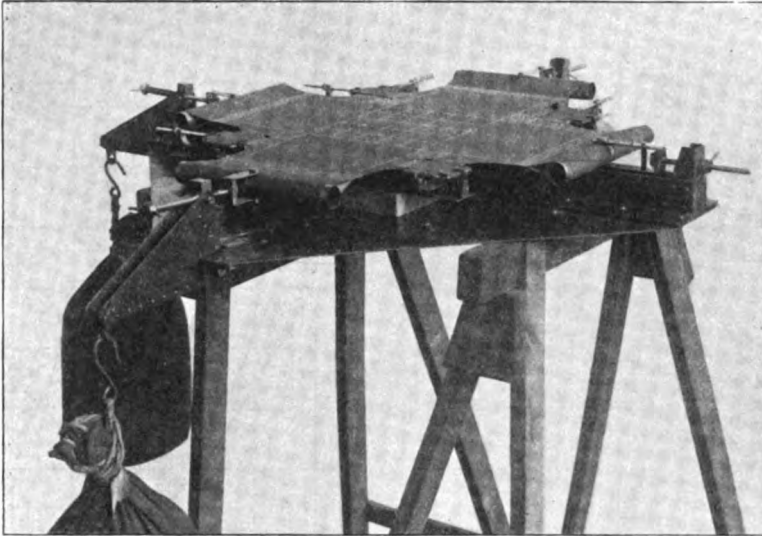


Fig. 50. Versuch VII. Normalcharakteristik, Einzelkreuz-Versuch. Ansicht von der Seite. (Stoff F der Tabelle).

der Dehnung der Mittelfläche und ein seitliches Spannungsabfließen nicht mehr möglich. In Fig. 51 tritt also zu dem Spannungs-Rechteck 1-2-3-4 das seitliche 2-3-6-5 und 1-4-7-8.

Die Hilfsspanner H_1 und H_2 sind verschieden hoch ausgebildet, so daß sie über einander liegen. Sie sind weder untereinander noch mit dem Spannrahmen verbunden und können daher den Formänderungen der Mittelfigur frei nach allen Richtungen folgen. Sie übertragen ihre Spannkraft durch angenähte Stoffschlaufen auf die Schenkel. Es ist wichtig, daß diese Schlaufen breit genug und der Mittelfläche möglichst nahe sind. Nach dieser Richtung hin kann die dargestellte Anordnung noch verbessert werden. Überhaupt stellen die Hilfsspanner keine ganz befriedigende Lösung dar. Ihre Nachstellung erfordert viel Zeit und dauernde Kontrolle, da der Stoff in der ersten Zeit seiner Belastung stark fließt (siehe Versuch I, Seite 16).

Im einzelnen gestaltete sich der Versuch folgendermaßen: Es wurden $7 \times 7 = 49$ Versuchspunkte aufgenommen in Abständen von je 80 kg/m Stoffspannung.

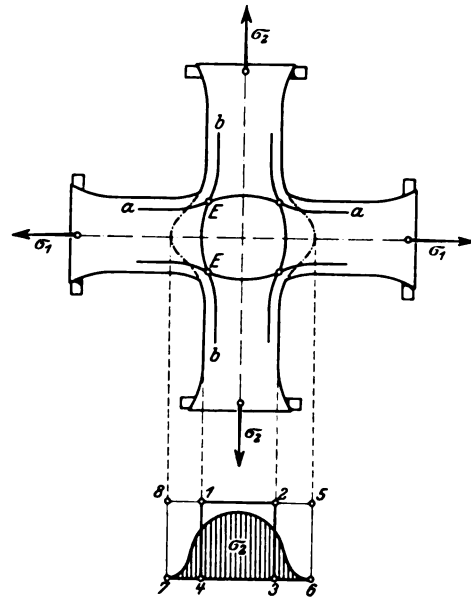


Fig. 51. Ungleichheit der Spannungsverteilung.

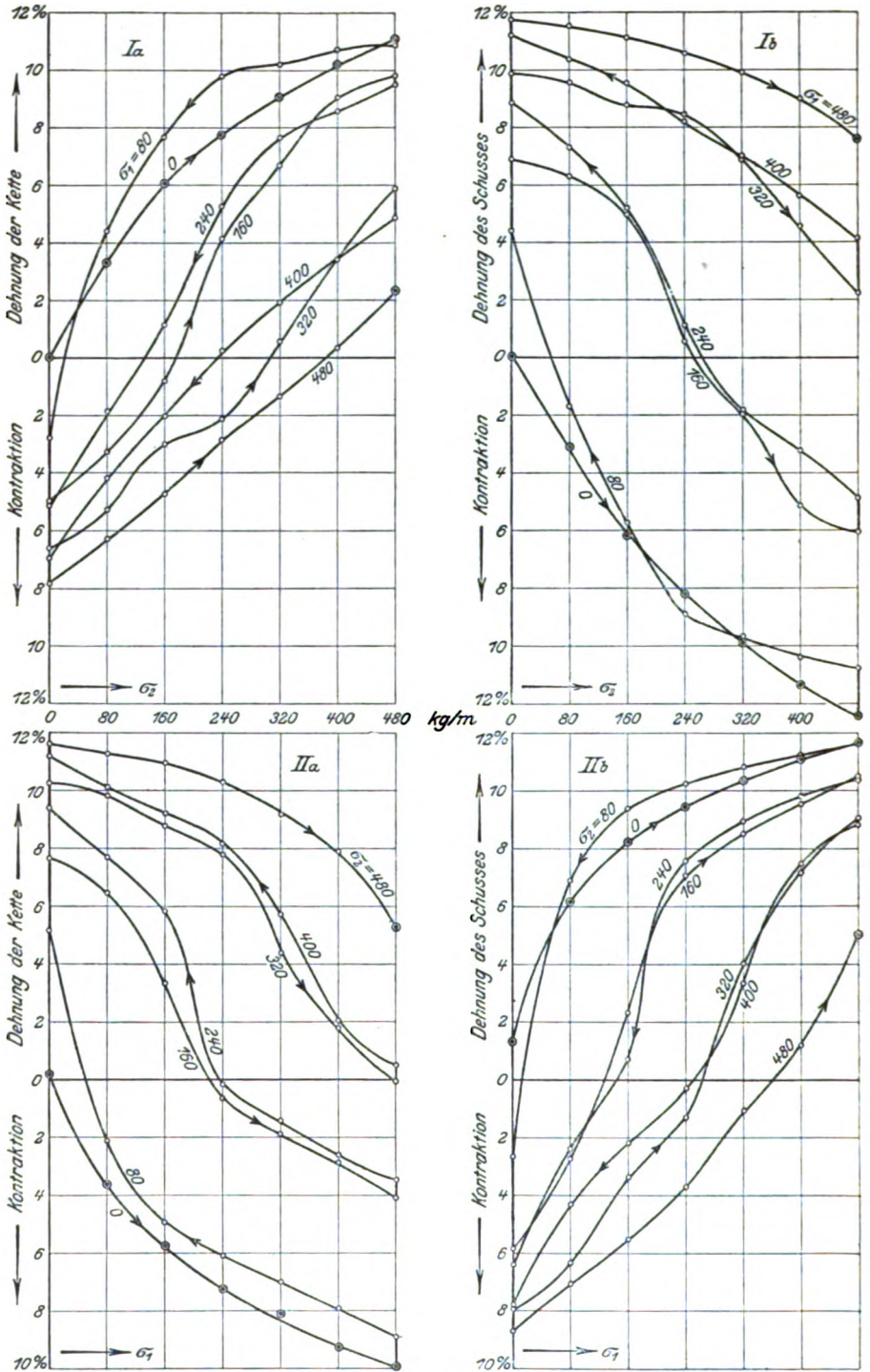


Fig. 52. Versuch VII. Die Normalcharakteristik nach der Einzelkreuzmethode. Erste Auftragung der Werte. (Stoff F der Tabelle).

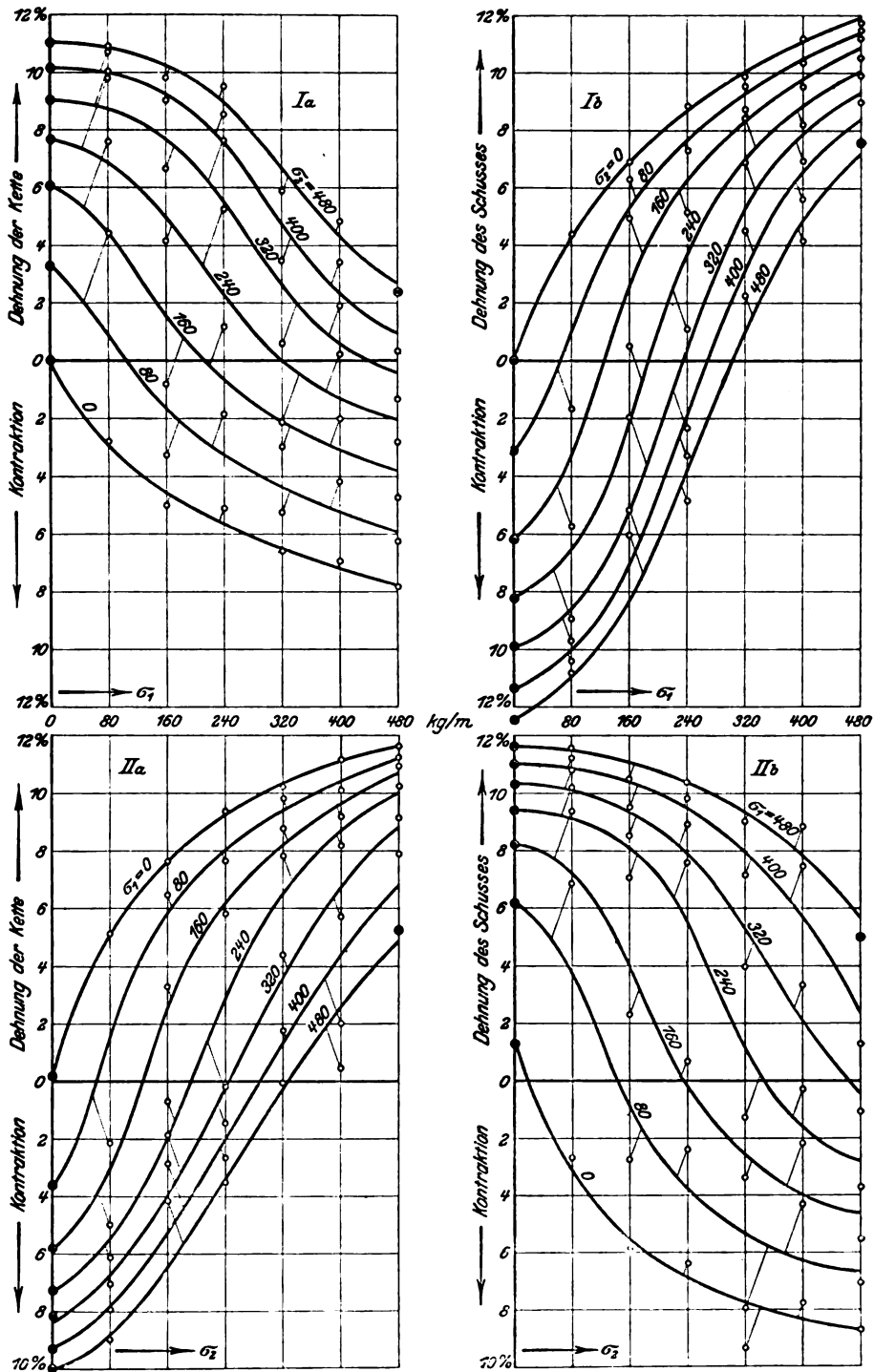


Fig. 53. Versuch VII. Die Normalcharakteristik nach der Einzelkreuzmethode. Zweite Auftragung der Werte. (Stoff F der Tabelle).

entsprechend 10 kg Sandbelastung am langen Arm der Hebel U. Die maximale Quer- und Längsspannung betrug also je $6 \times 80 = 480 \text{ kg/m}$. Die Reihenfolge der Versuchspunkte ist in Fig. 52 durch Pfeile angedeutet. Und zwar gehören die Diagramme I_a und I_b einer ersten, II_a und II_b einer zweiten, zur Kontrolle aufgenommen Versuchsreihe an. Die erste Reihe ist durch jedesmalige Veränderung der Längsspannung bei nur 6maliger der Querspannung charakterisiert, die zweite durch die Umkehrung hiervon. (Längsspannung entsprechend der Kette, Querspannung dem Schuß.) Zwischen beiden Reihen wurde eine längere Pause (18 Tage) gemacht, um dem Stoff Zeit zur Rückbildung seiner Anfangswerte zu geben. Letztere wurden trotzdem nicht wieder erreicht. (Vgl. Fig. 21 und 22, Seite 16).

Innerhalb jeder Versuchsreihe erfolgte die Änderung der Belastung alle 10 Minuten. Hierbei wurde die Wirkung der Reibung der Hebel U in ihren Lagerungen (Bronzebuchsen auf Stahlbolzen) durch kräftiges Erschüttern des Spannrahmens eliminiert. Immer 8 Minuten nach erfolgter Änderung wurden Länge und Breite des aus dem Meßquadrat entstandenen Rechteckes an je 6 Stellen gemessen. (Fig. 48.)

Fig. 52 stellt die Mittelwerte der Dehnungen in Prozenten der Anfangslängen dar. Für jede der beiden Versuchsreihen ergeben sich 2 Kurvenscharen (I_a , I_b und II_a , II_b), eine für Ketten-, eine für Schußrichtung.

Das Kennzeichen dieser Kurvenscharen ist die augenfällige Stoffremanenz, die eine Regelmäßigkeit des Bildes noch nicht zustande kommen läßt. Sie wird erst erreicht durch einen Wechsel der Auftragung, indem die Werte der ersten Versuchsreihe in der Anordnung der zweiten aufgetragen sind und umgekehrt. (Fig. 53.) Die Remanenz tritt hier darin zutage, daß immer ein Versuchspunkt zu hoch, der folgende zu tief liegt.

Der letzte Schritt zur Darstellung der Normalcharakteristik ist nun die Zusammenfassung der korrespondierenden Werte aus der ersten und zweiten Versuchsreihe. Dieser zusammenfassenden Interpolation wurde als willkürlicher Anhaltspunkt folgende Überlegung zugrunde gelegt: Nicht an allen Stellen sind die beiden korrespondierenden Punkte gleichwertig. Vielmehr erscheinen die vier Anfangskurven, bei denen die Spannungen in einer der beiden Richtungen jeweils gleich Null waren (in Fig. 52 und 53 durch besonders starke Punkte hervorgehoben), besonders wertvoll, da sie nicht beeinflußt sind durch vorherige Belastung. Sie sind daher ohne weiteres in die interpolierten Kurvenscharen übernommen und bilden, vom Koordinaten-Anfangspunkt ausgehend, die äußeren Begrenzungskurven dieser Scharen. (Fig. 54.) Bei den Schlußpunkten dagegen, bei denen beide Spannungen gleichzeitig ihr Maximum erreichen, ist anzunehmen, daß die einen sicher zu kleine, die anderen zu große Werte angeben. Als wahrscheinliche Werte sind daher ihre arithmetischen Mittel in die Kurvenscharen (Fig. 54) übernommen. Alle übrigen Einzelkurven sind nun nach den Anfangskurven und den Schlußpunkten willkürlich orientiert mit der Maßgabe, daß sie in ihrem charakteristischen Verlauf möglichst den ermittelten Originalkurven (Fig. 53) nahekommen. Als Nullpunkte sind diejenigen des ersten Versuches eingesetzt.

In Fig. 54 sind die interpolierten Kurven sowohl in der Anordnung der Fig. 52 als in derjenigen der Fig. 53 aufgetragen. Durch diese Doppelauftragung ist eine

zeichnerische Kontrolle des Kurvenverlaufes ermöglicht. (Punkt A ist gleichbedeutend mit B, Punkt C mit D usw.)

Die Normalcharakteristik läßt alles Wesentliche des Stoffverhaltens erkennen:

Das Hookesche Gesetz gilt nicht, denn die Kurven sind keine Geraden.

Das Superpositionsgesetz gilt nicht, denn die Kurven sind untereinander nicht kongruent.

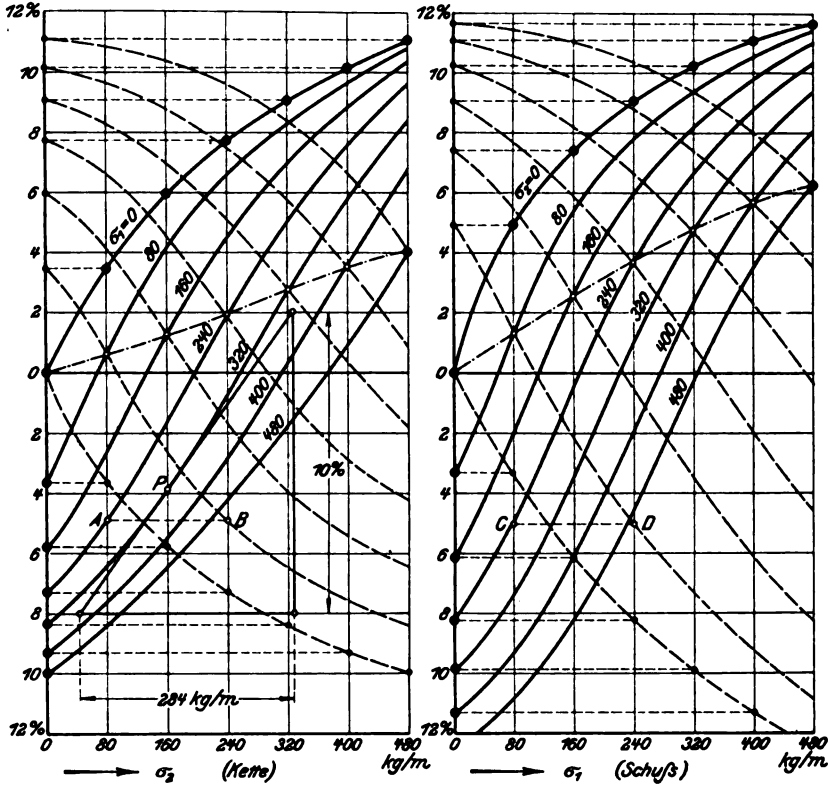


Fig. 54. Die Normalcharakteristik eines diagonaldoublierten Stoffes. (Stoff F der Tabelle).

Würde die Formänderung nur auf Fadenschiebung beruhen, so müßten die Punkte gleicher Längs- und Querspannung mit der Nulllinie zusammenfallen. Weil aber Fadestreckung und Fadendehnung hinzukommen, so heben sie sich in den positiven Teil der Diagrammflächen empor. (In Fig. 54 sind ihre Verbindungslinien strichpunktirt eingetragen.)

Der Elastizitätsmodul ergibt sich als Tangente (bzw. Sekante) der Dehnungskurven. Z. B. beträgt der Elastizitätsmodul der Kettenrichtung für die durch Punkt P dargestellten Normalspannungen $284 \times 10 = 2840 \text{ kg/m}$.

Versuch VIII.

Die Normalcharakteristik eines dreifachen Stoffes. „Vielkreuzmethode.“
(Stoff G der Tabelle.)

Im Gegensatz zu Versuch VII wurde die Zahl der Versuchspunkte auf $5 \times 5 = 25$ beschränkt, mit Spannungsabstufungen von je 100 kg/m. Die maximalen Spannungen betragen also 400 kg/m.

Zur Vereinfachung der Belastung wurden die Versuchspunkte gleicher Längsspannung zusammengefaßt (Fig. 55). Die untereinander verschiedenen Querspannungen (σ_1) wurden vertikal durch unmittelbares Anhängen von Sandsäcken

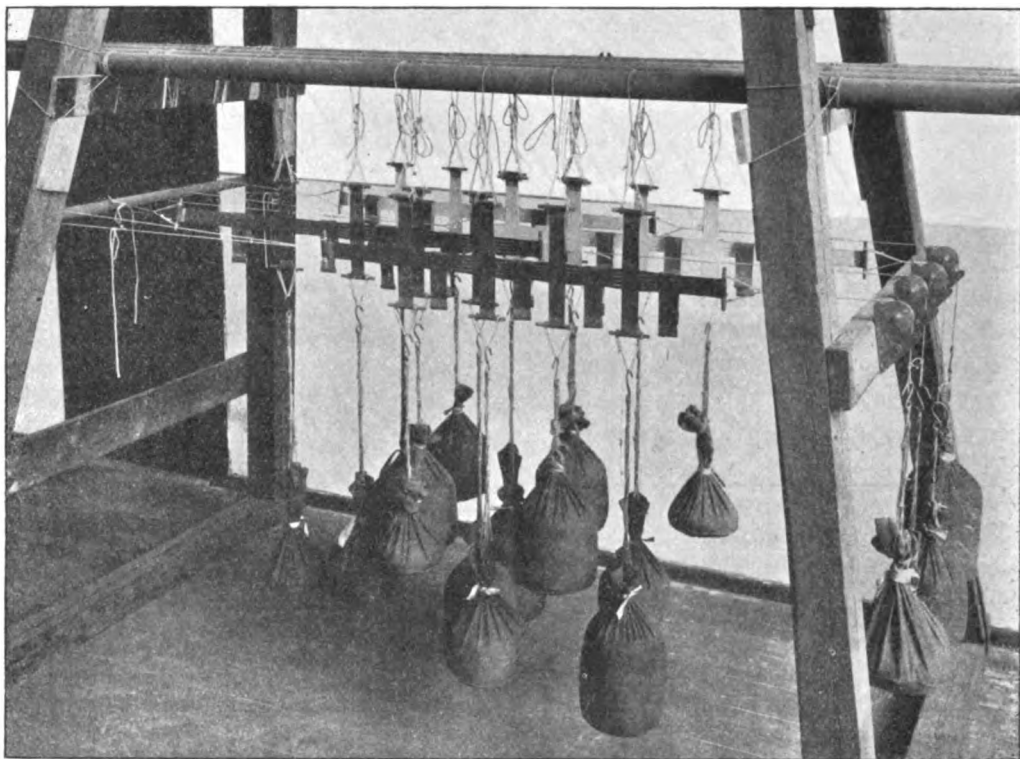


Fig. 55. Versuch VIII. Normalcharakteristik. Vielkreuz-Methode. (Stoff G der Tabelle).

erzeugt, die gemeinsame Längsspannung (σ_2) horizontal unter Zwischenschaltung je einer auf schräger Bahn (45°) frei aufgelegten, d. h. nahezu reibungsfreien Rolle. Bei der Längsspannung 0 traten an Stelle der Kreuze 4 einfache Normalstreifen. (In Fig. 55 nicht sichtbar.)

Die Breite der Kreuzschenkel betrug 50 mm, die Sandsackbelastung dementsprechend 5 bis 20 kg. Als Meßfigur wurde die gesamte Mittelfläche der Kreuze von $50 \times 50 \text{ mm}^2$ verwendet. Die Ablesungsgenauigkeit ist bei diesen kleinen Längen gegenüber den groben, im Stoff selbst liegenden Ungleichheiten noch ausreichend.

Die Verzerrung der Meßfigur durch gegenseitige Spannungsbeeinflussung (Fig. 51) wurde dadurch verhindert, daß alle Kreuzschenkel in Richtung der Kräfte mehrfach geschlitzt wurden (Fig. 56). Diese Methode führt bedeutend einfacher und sicherer zum Ziel als die beim vorigen Versuch angewandte der Hilfsspanner. Sie schneidet allen aus der Mittelfläche etwa austretenden Spannungen den Weg ab. Die Schenkel müssen hierbei genügend lang sein, damit die durch das Auseinanderklaffen der Schlitzte entstehenden schrägen Kraftwirkungen unerheblich bleiben.

Auch dieser Versuch wurde in zwei einander entsprechenden Reihen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden für jeden Versuchspunkt zwei nebeneinander ausgeschnittene Kreuze verwendet. Bei der ersten Reihe wurden zunächst die

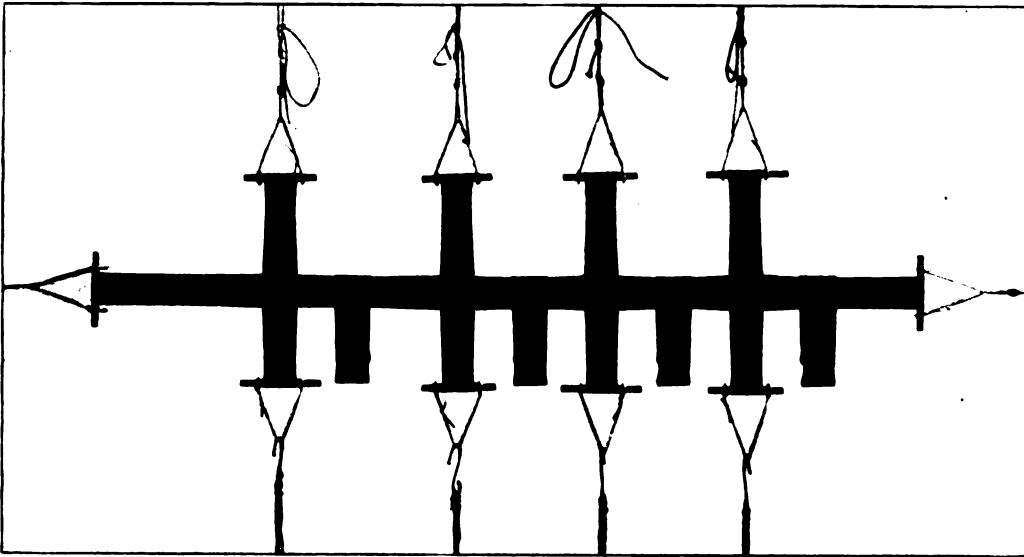
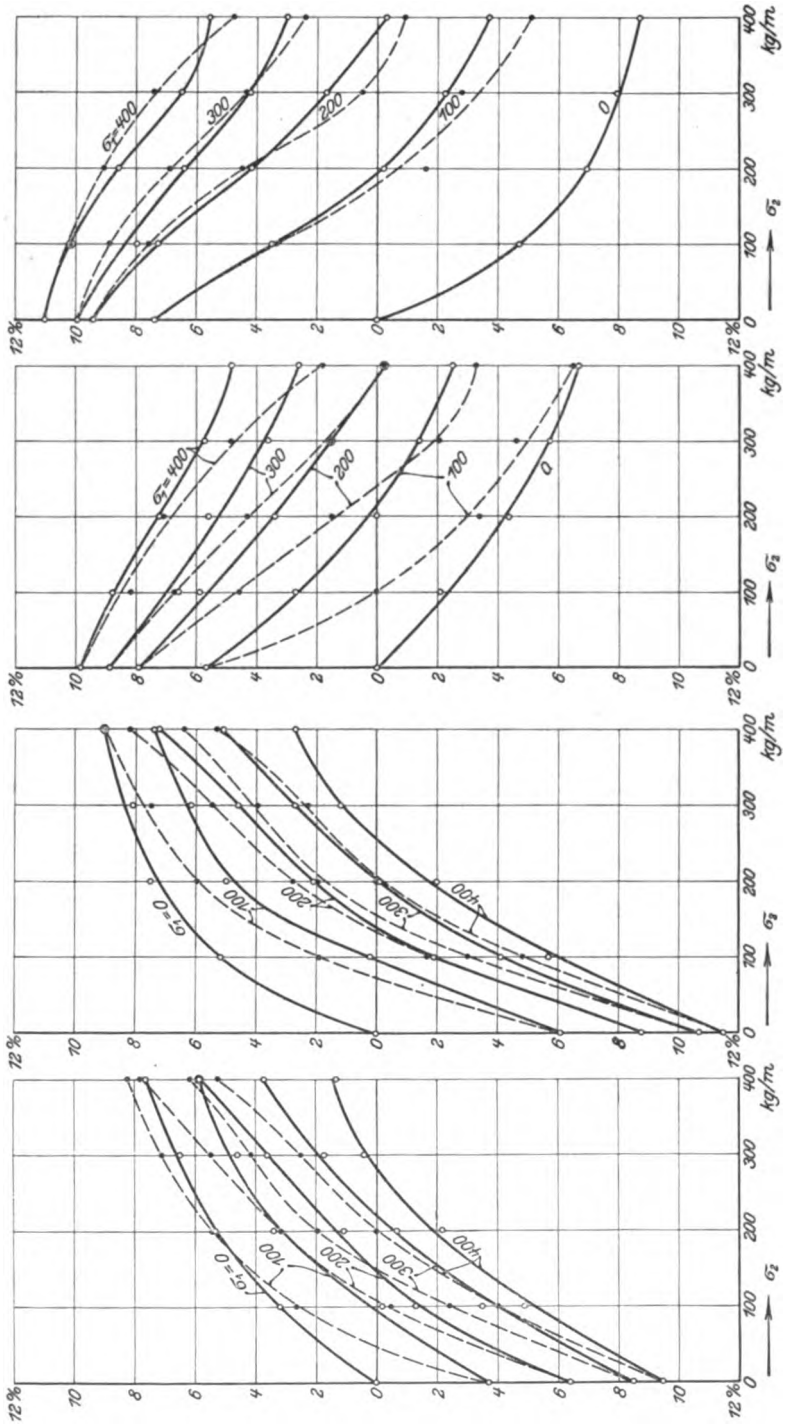


Fig. 56. Versuch VIII. Normalcharakteristik. Die Schlitzung der Schenkel. (Stoff G der Tabelle).

Querspannungen und nach diesen die gemeinsame Längsspannung angehängt. Damit trat auch die zweite Reihe schon unter die Einwirkung der Längsspannung, blieb jedoch noch frei von Querspannungen. Erst nach Beendigung des Versuchs mit der ersten Reihe wurden die Querspannungsandsäcke auf die Kreuzschenkel der zweiten übergehängt. Auf diese Weise entstanden für jeden Versuchspunkt 2 korrespondierende Dehnungswerte, von denen der eine mehr durch die Quer-, der andere mehr durch die Längsspannung beeinflusst ist. In Fig. 56 sind die Meßfiguren der ersten Reihe weiß überdeckt. (Für die 4 einfachen Normalstreifen der Längsspannung 0 fällt natürlich die zweite Versuchsreihe fort.)

Die Dauer der beiden Versuchsreihen betrug je 3 Wochen. Innerhalb dieser Zeit wurden die Dehnungswerte mehrfach abgelesen. Die Ablesung erfolgte stets an drei Stellen der Meßfigur, nämlich in der Mitte sowie in einem Abstand von je 5 mm von den Ecken.



Kette nach 24 Stunden. Schuß nach 24 Stunden. Schuß nach 3 Wochen. Kette nach 3 Wochen. Die Normalcharakteristik nach der Vielkreuz-Methode. Erste Auftragung der Versuchswerte. (Stoff G der Tabelle).

In Fig. 57 sind die gemessenen Dehnungen in Prozenten der Anfangslängen in der Form von Kurvenscharen dargestellt, und zwar stellen das erste und dritte Diagramm die Formänderungen von Kette und Schuß nach 24stündiger Belastung, das zweite und vierte nach drei Wochen dar. Dabei entsprechen die stark ausgezogenen Kurven der ersten, die gestrichelten der zweiten Versuchsreihe.

(Im Hinblick auf die Herstellung einer Hülle aus Längsbahnen ist — wie an allen Stellen dieser Arbeit — die Querspannung σ_1 in Richtung des Schusses, die Längsspannung σ_2 in Richtung der Kette angebracht.)

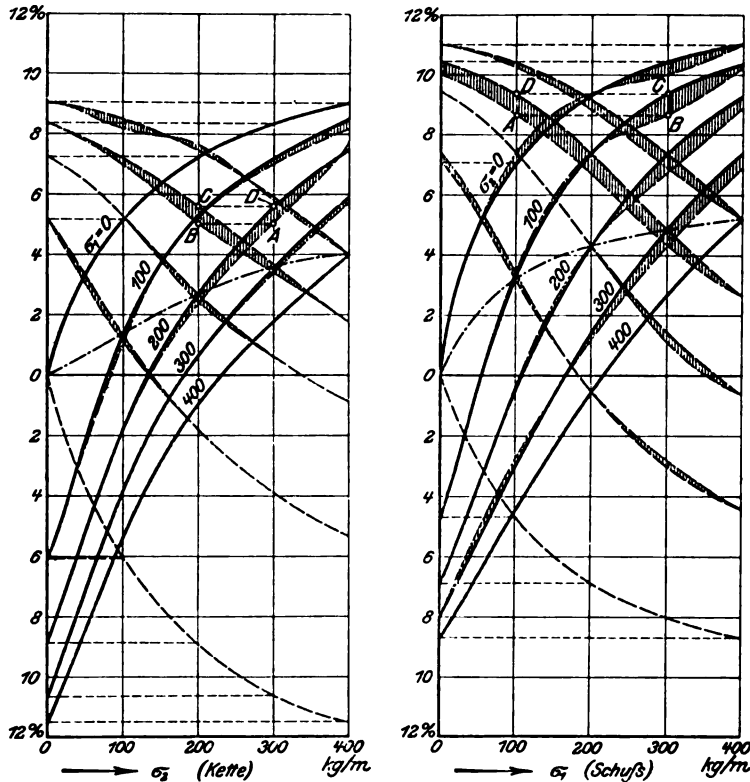


Fig. 58. Die Normalcharakteristik eines dreifachen Stoffes. (Stoff G der Tabelle).

Das teilweise recht wilde Durcheinanderliegen der Einzelpunkte ist weniger in Ablesungsungenauigkeiten als in der Ungleichmäßigkeit des Stoffes selbst begründet. Denn es fand sich für ein und dasselbe Kreuz bei allen über die dreiwöchige Versuchsdauer verteilten Ablesungen in der Regel eine gleichartige Abweichung.

Der Einfluß der Belastungsdauer entsprach den Erwartungen nach Versuch I (Seite 15). Eine Ablesung nach vierzehntägiger Belastung zeigte eine starke Zunahme der Formänderung gegenüber derjenigen nach einem Tage, wich dagegen nicht mehr erheblich von derjenigen nach drei Wochen ab, so daß die Versuchsdauer im Verhältnis zur Versuchsgenauigkeit als ausreichend angesehen werden kann.

In dem Unterschiede der beiden Versuchsreihen zeigt sich die starke einseitige Beeinflussung der Dehnung durch die jeweils zuerst vorhandene Einzelspannung. Der Vergleich des ersten und zweiten sowie des dritten und vierten Diagramms der Fig. 57 ergibt, daß diese Beeinflussung sich mit der Länge der Belastungsdauer vermindert.

Zur endgültigen Bestimmung der Normalcharakteristik sind für die Dehnung nach drei Wochen aus den korrespondierenden Werten der beiden Versuchsreihen die Mittel genommen (Fig. 58). Als Hilfsmittel der zeichnerischen Interpolation diente auch hier, wie in Fig. 54, die doppelte Auftragung, bei der Längs- und Querspannungen vertauscht angeordnet werden. Als Mittelwerte aus Fig. 57 ergaben sich zunächst die Punkte A. Ihre Übertragung in das Kontrollbild lieferte die Punkte B, die durch Interpolation mit Rücksicht auf den Verlauf der benachbarten Kurven nach C verlegt und ihrerseits wiederum durch die Übertragung nach D kontrolliert wurden. Wenn auch hierbei noch Spielraum für eine gewisse Willkür vorhanden ist, so erscheinen die Resultate doch sicherer als beim „Einzelkreuzversuch“.

Für die Zwecke der Praxis wird es im allgemeinen genügen, nur dasjenige Spannungsgebiet zu untersuchen, das für die zu erbauende Hülle in Frage kommt. Namentlich die Querspannungen können entsprechend Hüllendurchmesser und Innendruck enger eingegrenzt sein als beim vorliegenden Versuch. Es ist zu empfehlen, dafür die Längsspannungen in kleineren Abständen, also mit mehr Einzelpunkten zu untersuchen. Eine praktische Schenkelbreite ist 100 mm, die durch neun Schlitze von mindestens 150 mm Länge in 10 Einzelstreifen von 10 mm Breite geteilt wird. Erfolgt dabei die Belastung beider Stoffrichtungen möglichst gleichzeitig, so erscheint die Teilung des Versuchs in zwei Reihen überflüssig. Da es praktische Schwierigkeiten macht, beide Spannungen im gleichen Augenblick einzusetzen, kann man sich durch stufenweise Belastung in der Weise helfen, daß man zuerst einen Teil der Querspannung, dann einen entsprechenden Teil der Längsspannung anbringt, hierauf einen weiteren der Querspannung u. s. f., bis die ganze Belastung angehängt ist.

Versuch IX.

Die Schubcharakteristik eines dreifachen Stoffes.

(Stoff G der Tabelle.)

Nach Art des Versuches VI (Seite 31) wurden 9 Hysteresisschleifen I—IX aufgenommen bei 3 verschiedenen Querspannungen: 200, 250 und 300 kg/m. Innerhalb jeder Querspannung wurde die Längsspannung so verändert, daß sie jeweils 80, 50 und 20 % der Querspannung betrug. Für die 80 bzw. 20 % wurde wie schon früher (Versuch IV, Seite 22) eine positive bzw. negative Zusatzbelastung (Fig. 59 und 60) verwendet. Die angegebenen Spannungen beziehen sich auf den ungedehnten Durchmesser.

Alle 9 Versuche wurden an einem und demselben Stoffzylinder von wiederum 80 (genauer 79,6) mm Durchmesser und 300 mm Länge angestellt, und zwar stets in hängender Stellung, weshalb die negative Zusatzbelastung nicht mehr direkt,

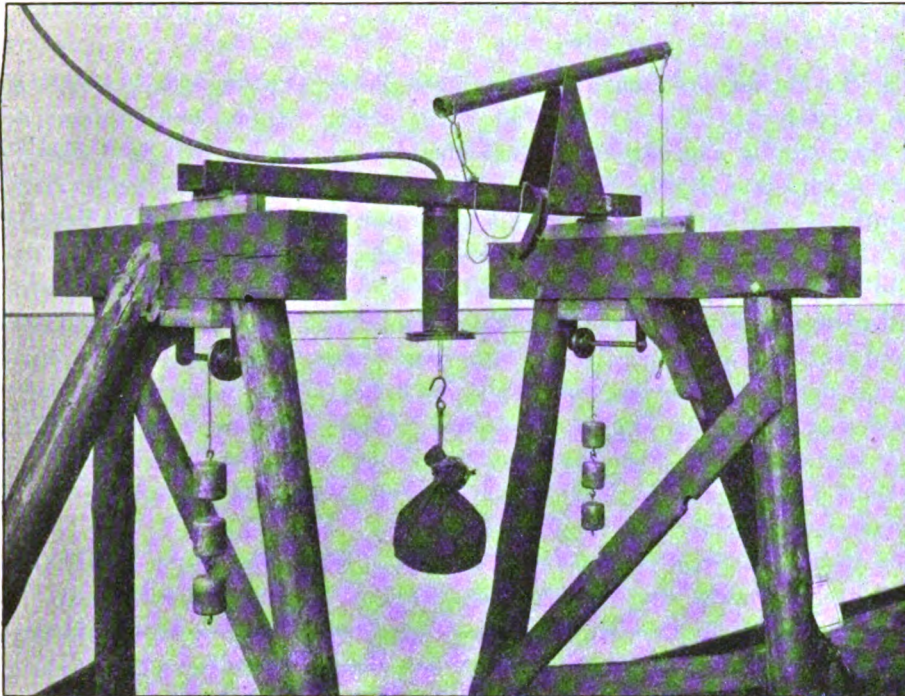


Fig. 59. Versuch IX. Torsionsversuch. Positive Zusatzbelastung. (Stoff G der Tabelle).

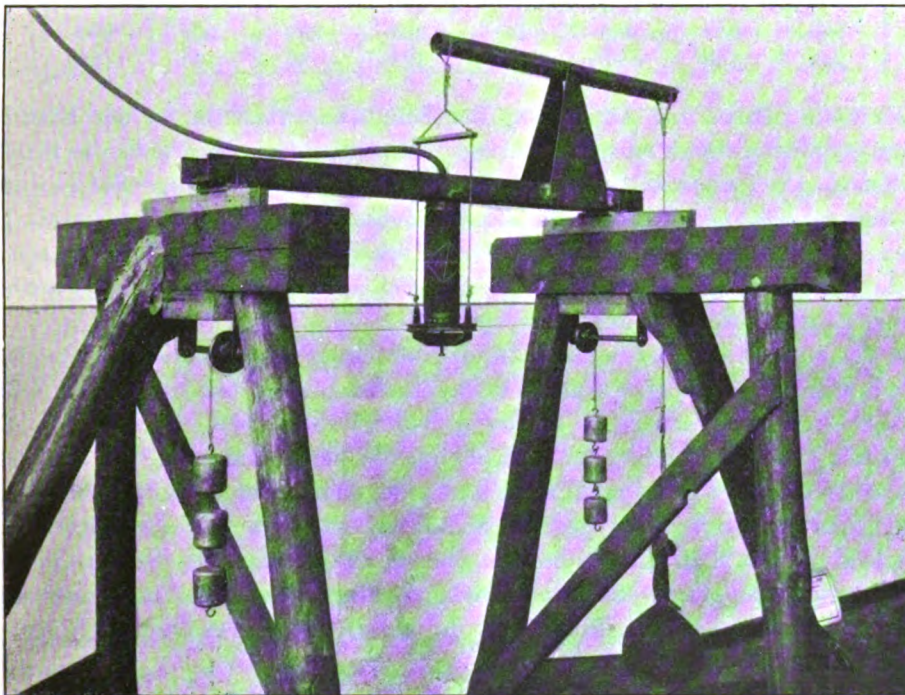


Fig. 60. Versuch IX. Torsionsversuch. Negative Zusatzbelastung. (Stoff G der Tabelle).

wie in Fig. 32, sondern durch Vermittlung eines gleicharmigen Umkehrhebels erfolgte.

Für den dicken dreifachen Stoff genügte die Abdichtung durch eingebundene gerillte Holzscheiben (Fig. 41, Seite 31) nicht mehr. Diese wurden daher ersetzt durch dünnwandig ausgedrehte Bronzescheiben, auf denen der Stoff durch je 2 um 180° versetzte Blechschellen festgeklemmt wurde. Drehscheibe (160 mm Durchmesser) und Drehgewichte (je 2,5 kg) waren die gleichen wie bei Versuch VI, ebenso die rhombische, auf der Spitze stehende Meßfigur.

Die Drehbelastung T wurde maximal auf 10 kg gesteigert. Bei den geringeren Normalspannungen war zur Vermeidung der Faltenbildung eine Beschränkung auf 7,5 bzw. 5 kg geboten. Da die einzelnen Versuche jeweils bei dem positiven Maximum der Drehbelastung und damit bei hoher Verdrehung endeten, so wurde der Stoffzylinder für den Beginn des darauf folgenden Versuchs von Hand in seine Nullage zurückgedreht. Die Zwischenpausen zwischen den Versuchen betragen mindestens 3 Stunden, während der die Normalspannungen bereits auf die Werte des folgenden Versuchs eingestellt wurden.

Die Resultate der Messungen sind in den 9 Hysteresisschleifen I—IX (Fig. 61) dargestellt. Und zwar sind die trigonometrischen Tangenten der Verschraubungswinkel φ , d. h. die Schiebungen pro Längeneinheit, als Funktion der Schubspannung aufgetragen. Die zugehörigen Normalspannungen in kg/m ergeben sich aus folgender Tabelle:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
$\sigma_1 =$	300	300	300	250	250	250	200	200	200
$\sigma_2 =$	240	150	60	200	125	50	160	100	40

Der erste Schritt zur Aufstellung der Schubcharakteristik ist der Ersatz der Hysteresisschleifen durch einzelne Kurven. Man könnte z. B. jeweils die jungfräuliche Kurve als maßgebend ansehen und würde damit diejenige Schiebung der Hülle vorausberechnen können, die sie im Montagestadium vor der ersten Fahrt erleidet. Beim Eintritt in den Fahrbetrieb ergeben sich jedoch Überspannungen nach der einen und anderen Seite, so daß sich eine Formänderung herausbilden wird, die einer mittleren Kurve entspricht.

In Fig. 61 sind in jeder Schleife durch Halbierung der Remanenz solche Mittelkurven bestimmt. Sie folgen in ihren beiden Enden jeweils den Spitzen der Schleife, sind also — beim Versuch — abhängig vom Versuchsbereich, bei der Fahrt des Schiffes von der Höhe der auftretenden Überspannungen. Da die in der Praxis auftretenden Schubspannungen durchweg weit unter der kritischen (Faltenbildung) bleiben, so kommt für die Schubcharakteristik nur ihr mittlerer Teil in Betracht. Faßt man ihre Ordinaten über einer Grundfläche, die aus Quer- und Längsspannungen gebildet ist, zu Flächen gleicher Schubspannungen zusammen, so erhält man die Schubcharakteristik in der (Seite 39 erwähnten) Form einer Flächenschar.

Nun zeigt die Fig. 61, daß für geringe Schubspannungen die Mittelkurven mit Annäherung durch gerade Linien ersetzt werden können, daß also innerhalb

gewisser Grenzen die Annahme des Hookeschen Gesetzes zulässig ist. Damit vereinfacht sich die Schubcharakteristik um eine Dimension zur Einzelfläche. In diesem Sinne ist aus den Wendetangenten der Mittelkurven (Fig. 61) die Schub-

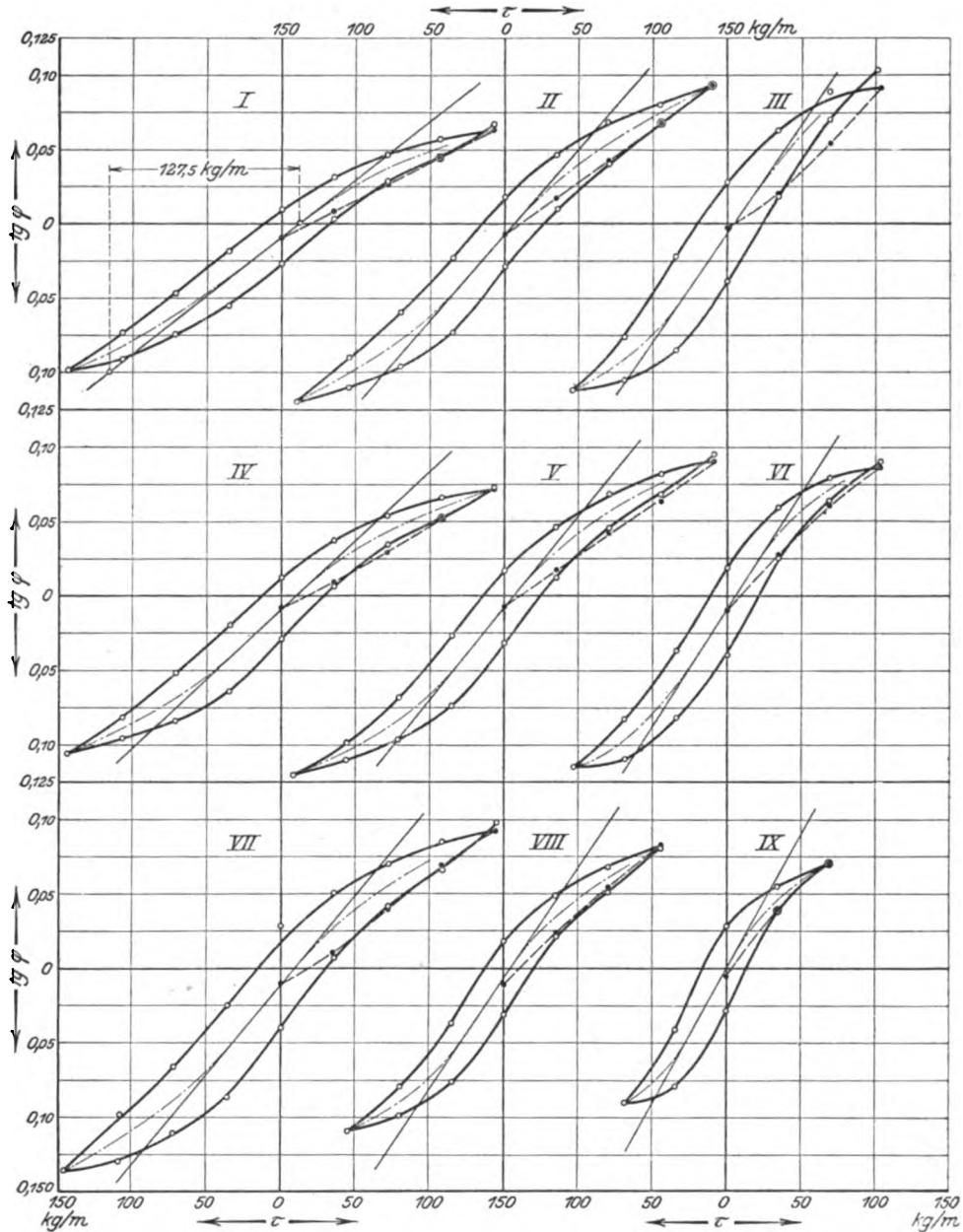


Fig. 61. Versuch IX. Hysteresis-Schleifen zur Schubcharakteristik. (Stoff G der Tabelle). charakteristik des untersuchten Stoffes entwickelt. (Fig. 62.) Z. B. wurde aus der Hysteresisschleife I der Schubmodul G zu $10 \times 127,5 = 1275 \text{ kg/m}$ entnommen und in Fig. 62 über dem Schnittpunkt der beiden für Schleife I geltenden Normalspannungen eingetragen

Die Berechnung dieser Normalspannungen erfolgte nach dem Wasserdruck und dem mittleren Durchmesser jedes Einzelversuches unter Berücksichtigung der Zusatzlasten. Die Berechnungsformeln lauten:

Für die Querspannung:

$$\sigma_1 = \frac{d}{2} \cdot W,$$

für die Längsspannung:

$$\sigma_2 = \frac{d}{4} \cdot \left(W + \frac{H}{2} \right) \pm \frac{Z}{\pi \cdot d},$$

worin d den mittleren Durchmesser, W den Wasserdruck in der Mitte der Meßfigur, $\frac{H}{2}$ die Wassersäule unterhalb der Meßfigur (siehe Fig. 41) und Z die positive oder negative Zusatzlast + dem Eigengewicht der unteren Einspannvorrichtung bedeuten.

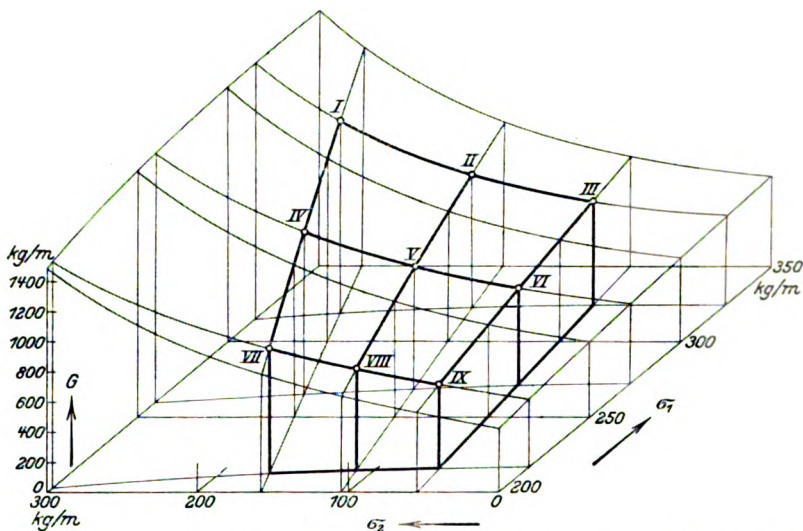


Fig. 62. Versuch IX. Die Schubcharakteristik in Flächenform. (Stoff G der Tabelle).

Im Gegensatz zu der Normalcharakteristik sind hier die tatsächlichen Spannungen berechnet, nicht die auf die Anfangsmaße reduzierten. Dieser Unterschied ergibt sich zwanglos aus der Verschiedenheit der Versuche und ist bei der Verwendung der Schubcharakteristik für die Schiebungsrechnung der Hülle zu berücksichtigen.

Die Mittelkurven der Hysteresisschleifen können für die Zwecke der praktischen Rechnung auch dann noch durch gerade Linien ersetzt werden, wenn die in Frage kommenden Schubspannungen größere Werte annehmen. In diesem Falle wird man zweckmäßig an die Stelle der Wendetangenten Sekanten setzen, wodurch die Ordinaten G der Schubcharakteristik kleiner werden.

Fig. 62 zeigt, daß die Schiebung im allgemeinen umso geringer ist, je größer die Normalspannungen sind. Diese Beobachtung wurde schon bei Versuch VI (Seite 32) am einfachen Stoff gemacht und dort zum Teil erklärt. Die Betrachtung kann hier noch etwas erweitert werden:

Denkt man sich in Fig. 41 aus der Schubspannung τ und der Längsspannung die Resultierende gebildet, so wird ihre Neigung zur Achse, d. h. der Grenzwert der Schiebung für den Fall des reibungslosen Netzgefüges, bei gleicher Schubspannung umso geringer sein, je größer die Längsspannung σ_2 ist. Die gleiche Abhängigkeit wird also auch bei dem praktischen Schiebungswert gelten, da dieser immer um den Betrag der elastischen Kräfte und der inneren Reibung gegenüber dem theoretischen Grenzwert zurückbleiben wird.

In Fig. 63 sind die Werte der Schubcharakteristik in die für die praktische Verwendung geeignete Form einer Kurvenschar übertragen.

Die bei der Verdrehung auftretende Durchmesseränderung betrug im Bereich von ± 100 kg/m Schubbelastung maximal 0,5 %, die Längenänderung 1,5 %. Der Einfluß der Schubspannungen auf Dehnung und Kontraktion ist also weit geringer als derjenige der Normalspannungen auf die Schiebung. Für die praktische Formänderungsrechnung kann er, wie schon auf Seite 39 angedeutet, umso eher außer Betracht bleiben, als die Schubspannungen nur an der Stelle der geringsten Biegungsspannungen ihr Maximum erreichen, dagegen an der Stelle der größten Biegungsspannungen verschwinden.

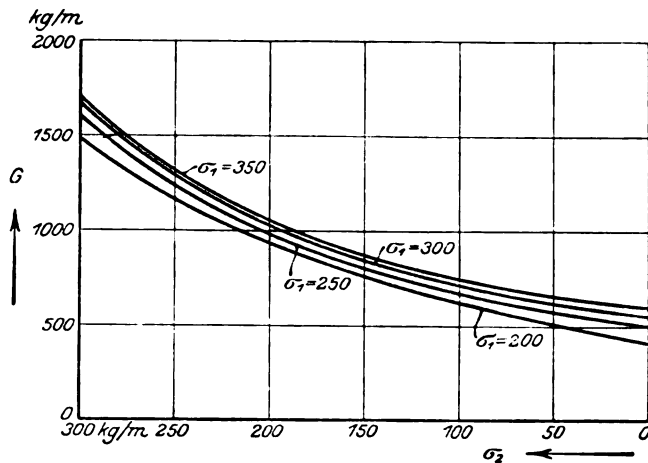


Fig. 63. Versuch IX. Die Schubcharakteristik in Form einer Kurvenschar. (Stoff G der Tabelle).

C. Die Formänderung der Hülle.

Die an der Hülle wirkenden Kräfte.

Die Hülle eines Luftschiffes erfährt eine dauernde und vorübergehende Formänderungen. Für die Vorausbestimmung der Hüllform kommt nur die erstere in Betracht. Wir sehen also ab von allen motorischen und aerodynamischen Kräften, die bei der Fahrt in der Geraden und insbesondere in der Kurve auftreten, und denken uns das Schiff in horizontaler Lage im aerostatischen Gleichgewicht freischwebend.

Die Hülle unterliegt zunächst der Wirkung des Wanddruckes. Er steigt von unten nach oben praktisch linear an und liefert als Summe seiner Vertikal-komponenten den Gesamtauftrieb $A \cdot V$, wobei A den Auftrieb pro cbm Gas, V das Volumen der Hülle bedeutet. Im Gleichgewicht mit diesem Auftrieb stehen die Schwerkkräfte der Hülle und aller angehängten Lasten.

Die Wirkung des Wanddruckes und der Schwerkkräfte auf die Hülle ist nun die, daß jedes Flächenelement Querspannungen σ_1 , Längsspannungen σ_2 und Schubspannungen τ erfährt. Durch die axialen Komponenten des Wanddruckes werden zunächst Längsspannungen geweckt. Ihre Verteilung über den Umfang hängt ab von der Querschnittsform. Wäre diese ein Kreis und der Wanddruck über den ganzen Umfang der gleiche, so würde die Verteilung der Längsspannungen eine gleichförmige sein. Da die erste Voraussetzung nur mit Annäherung, die zweite überhaupt nicht zutrifft, so decken sich über die gleichförmigen Längsspannungen Biegungsspannungen derart, daß der Schwerpunkt der Längsspannungen mit dem der axialen Wanddruckkomponenten zusammenfällt. Der reine Gasdruck wirkt also bereits verbiegender auf die Hülle.

Die radialen Komponenten des Wanddruckes erzeugen Querspannungen. Sie bestimmen im Verein mit den angehängten Lasten und dem Eigengewicht der Hülle in erster Linie die Querschnittsform. Hierbei ist die Art der Lastaufhängung von besonderer Bedeutung.

Da im allgemeinen die Lasten in anderer Weise über die Länge der Hülle verteilt sind als der Auftrieb, so entstehen Biegemomente. Infolgedessen werden die Längsspannungen, die schon durch den Gasdruck ungleich über den Querschnitt verteilt sind, weiter verändert. Endlich hat die Übertragung der konzentrierten Vertikallasten auf die Hülle mit Hilfe schrägliegender Zugorgane (Takelung) die Entstehung von Kräften in der Achsenrichtung zur Folge, durch die eine nochmalige Beeinflussung der Längsspannungen eintritt.

Der Ausgleich der Auftriebs- und Schwerkkräfte über die Längsrichtung der Hülle erfolgt durch die Schubspannungen.

Der Gang der Berechnung.

Eine genaue Berechnung der Spannungen und Formänderungen für jede Stelle der Hülle scheidet daran, daß die Quer-, Längs- und Schubspannungen nicht nur in Abhängigkeit von den Kräften, sondern auch, wie wir bei den Stoffversuchen sahen, in gegenseitiger Abhängigkeit stehen. Hinzu kommt, daß die Querschnitte der Hülle nur an den Enden kreisförmig sind, im Bereich der Takelung jedoch mehr oder weniger von der Kreisform abweichen.

Der Unmöglichkeit einer genauen Berechnung steht glücklicherweise ihre Zwecklosigkeit gegenüber. Denn erstens ist der Innendruck während der Fahrt dauernden Schwankungen um eine Mittellage unterworfen. Zweitens sind je nach der Lufttemperatur und dem Barometerstand die Belastungsverhältnisse verschieden. Drittens hat die innere Stoffreibung zur Folge, daß ein und derselben Belastung nicht eine ganz bestimmte Formänderung der Hülle, sondern ein ganzer Formänderungsbereich entspricht, innerhalb dessen jeder Wert erreicht werden kann, je nachdem welche Belastung vorhergegangen ist. Endlich stellen die Rechnungsunterlagen, die in Form der Normal- und Schubcharakteristik gegeben sind, bei der geringen Gleichmäßigkeit der Stoffe nur mehr oder weniger gute Annäherungen an die wirklichen Mittelwerte dar. Wenn wir uns nun erinnern, daß der Ausgangspunkt der Betrachtungen der Wunsch war, grobe Formfehler der Hülle

von vornherein zu vermeiden, so ist ersichtlich, daß es sich bei den folgenden Spannungs- und Formänderungsrechnungen um möglichst praktische Annäherungsverfahren, am besten unter enger Anlehnung an die im Maschinenbau angewandten Methoden, handeln muß.

Wir wollen zu diesem Zweck die gegenseitige Abhängigkeit der Einzelspannungen bis zu einem gewissen Grade außer acht lassen und die Berechnung in mehrere Einzelbetrachtungen trennen.

Sehen wir zunächst von allen Biegungs- und Schubspannungen ab, so bleiben, gewissermaßen als Spannungen erster Ordnung, diejenigen Längs- und Querspannungen übrig, die allein durch einen überall konstanten Innendruck von mittlerer Größe erzeugt werden. Sie entstehen dann, wenn die Hülle nicht mit Gas, sondern mit Luft gefüllt ist, und wenn gleichzeitig ihr Eigengewicht vernachlässigt wird. Diese Spannungen erster Ordnung erzeugen eine Durchmesserdehnung und Längs-Kontraktion, die mit Hilfe der Normalcharakteristik festgestellt werden kann.

Alsdann füllen wir die Hülle mit Gas von gleichem mittlerem Druck, wodurch diese ersten Formänderungen zunächst unbeeinflusst bleiben. Jedoch tritt nun infolge der auftretenden Momente eine Verbiegung der Hülle ein, die wir unabhängig für sich berechnen wollen.

In gleicher Weise wollen wir dann in einem dritten Abschnitt den Einfluß der Schubspannungen auf die Hüllenform untersuchen.

Während wir für diese drei Einzelbetrachtungen die Kreisform der Querschnitte als Voraussetzung annehmen, ist der Inhalt eines vierten Abschnittes der Abweichung von der Kreisform und ihrem Einflusse auf die Verbiegung der Hülle gewidmet.

Die Formänderung der luftgefüllten und gewichtslosen Hülle.

Das Grundgesetz der Spannungsverteilung.

Die Grundlage für die Bestimmung der Normalspannungen bilden die Beziehungen zwischen Druck, Spannung und Wölbung eines Stoffelementes dF (Fig. 64). Sind ds_1 und ds_2 seine Abmessungen in den beiden Hauptrichtungen, ρ_1 und ρ_2 seine Krümmungsradien mit den zugehörigen Zentriwinkeln $d\varphi_1$ und $d\varphi_2$, so gilt für die Kräfte senkrecht zum Flächenelement die Gleichgewichtsbedingung:

$$p \cdot ds_1 \cdot ds_2 = 2 \sigma_1 \cdot \sin \frac{d\varphi_1}{2} \cdot ds_2 + 2 \sigma_2 \cdot \sin \frac{d\varphi_2}{2} \cdot ds_1.$$

Nun ist:

$$ds_1 = \rho_1 \cdot d\varphi_1 \qquad ds_2 = \rho_2 \cdot d\varphi_2.$$

Ferner ist der Sinus eines ∞ kleinen Winkels = dem Winkel selbst; mithin:

$$p \cdot \rho_1 \cdot d\varphi_1 \cdot \rho_2 \cdot d\varphi_2 = \sigma_1 \cdot d\varphi_1 \cdot \rho_2 \cdot d\varphi_2 + \sigma_2 \cdot d\varphi_2 \cdot \rho_1 \cdot d\varphi_1,$$

woraus folgt:

$$p \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 = \sigma_1 \cdot \rho_2 + \sigma_2 \cdot \rho_1.$$

Diese Gleichung besagt, daß die beiden Spannungen σ_1 und σ_2 in beliebigem Verhältnis an der Aufnahme des Druckes p beteiligt sein können, daß mithin zur ein-

deutigen Bestimmung noch eine zweite Beziehung erforderlich ist. Löst man z. B. nach σ_1 auf, so ergibt sich:

$$\sigma_1 = p \cdot \rho_1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \sigma_2 \dots \dots \dots \text{(Gl. 6)}$$

Verschwundet die eine Spannung, so wird die andere ein Maximum von der Form:

$$\sigma = p \cdot \rho \dots \dots \dots \text{(Gl. 7.)}$$

Das gleiche tritt ein, wenn ein Radius, z. B. ρ_2, ∞ groß wird, d. h. wenn das Flächenelement auf einem Zylinder oder Kegelmantel liegt.

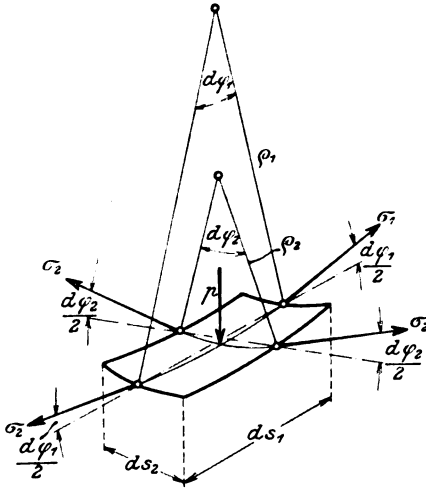


Fig. 64. Beziehung zwischen Druck, Spannung und Wölbung eines Stoffelementes.

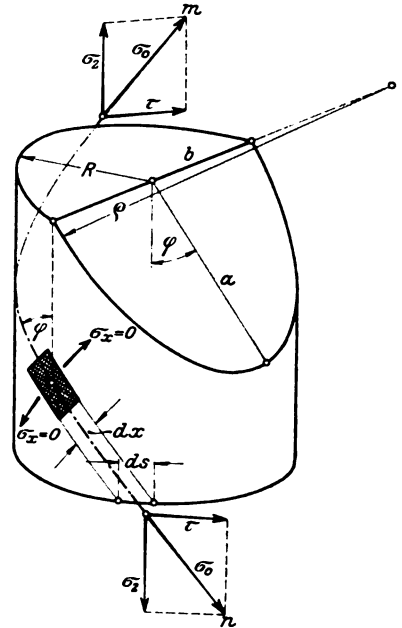


Fig. 65. Die kritische Schubspannung.

Die Anwendung auf die Berechnung der kritischen Schubspannung.
(Zwischenbetrachtung.)

Ist m—n (Fig. 65) die Richtung der durch Torsion entstehenden Falten eines Zylinders, so sind die zu dieser Richtung senkrechten Spannungen $\sigma_x = 0$.

Wir haben also den Fall der Gleichung 7:

$$\sigma = p \cdot \rho.$$

Hierin ist σ die in Richtung m—n wirkende, auf das Längenelement dx bezogene, aus σ_2 und τ resultierende Spannung von der Form:

$$\sigma = \frac{ds}{dx} \cdot \sigma_0 = \frac{1}{\cos \varphi} \cdot \sqrt{\sigma_2^2 + \tau^2}.$$

Der Krümmungsradius ρ in Richtung m—n ist identisch mit dem größten Krümmungsradius der unter dem Winkel φ gelegten Schnittellipse des Zylinders, hat also nach bekannter Formel die Größe:

$$\rho = \frac{a^2}{b},$$

worin:

$$a = \frac{R}{\sin \varphi}$$

und:

$$b = R,$$

so daß:

$$\rho = \frac{R}{\sin^2 \varphi}.$$

Die Einsetzung in Gleichung 7 ergibt also:

$$\frac{1}{\cos \varphi} \cdot \sqrt{\sigma_2^2 + \tau^2} = p \cdot \frac{R}{\sin^2 \varphi}.$$

Die Auflösung dieser Gleichung führt auf die Form:

$$\frac{\tau^2}{\sigma_2} = R \cdot p.$$

Beachtet man, daß:

$$R \cdot p = \sigma_1,$$

so erhält man als Maximalwert der Schubspannung, für welchen die Faltenbildung beginnt:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\sigma_1 \cdot \sigma_2}.$$

Diese Gleichung, die auf Seite 33 für den Spezialfall des idealen Netzgefüges abgeleitet wurde, ist also unabhängig von der Richtung der Fäden und gilt ganz allgemein, z. B. auch für Blechzylinder.

Die Anwendung auf die Spannungsberechnung der Hülle.

Die für die Bestimmung der Hüllenspannungen notwendige zweite Beziehung ergibt sich aus der Gleichgewichtsbedingung der axialen Kräfte entsprechend Fig. 66 wie folgt:

$$\pi R^2 \cdot p_m = 2 \pi R \cdot \sigma_2 \cdot \cos \delta,$$

woraus sich die Längsspannung berechnet zu:

$$\sigma_2 = \frac{p_m \cdot R}{2 \cos \delta}.$$

Hierin ist δ der Winkel zwischen der Hüllenachse und der Tangente im Querschnitt A-B. Wird er gleich 0, d. h. erreicht der Hüllendurchmesser sein Maximum, so ist

$$\sigma_2 = \frac{p_m \cdot R}{2}.$$

Nachdem die Längsspannung σ_2 bekannt ist, kann mit Hilfe der Gleichung 6 (Seite 60) die Querspannung σ_1 bestimmt werden. Hierbei kann man den Krümmungsradius ρ_1 ersetzen durch den Ausdruck:

$$\rho_1 = \frac{R}{\cos \delta}$$

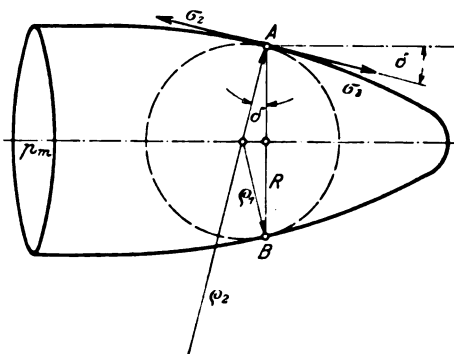


Fig. 66. Die Längsspannungen der luftgefüllten Hülle.

und erhält:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{p_m \cdot R}{\cos \delta} - \frac{R}{\cos \delta \cdot \rho_2} \cdot \frac{p_m \cdot R}{2 \cdot \cos \delta} \\ &= 2 \sigma_2 \cdot \left(1 - \frac{R}{2 \cos \delta \cdot \rho_2} \right).\end{aligned}$$

Für zylindrische und Kegelform ist $\rho_2 = \infty$, mithin:

$$\sigma_1 = 2 \sigma_2 = \frac{p_m \cdot R}{\cos \delta}.$$

Bei den schlanken Formen, die man den Hüllen zur Verminderung des Luftwiderstandes gibt, ist $\cos \delta$ nahe an 1 und der Krümmungsradius ρ_2 im Verhältnis zum Hüllenradius R sehr groß, so daß mit genügender Annäherung die im Gebrauch einfacheren Formeln angewendet werden können:

$$\sigma_1 \cong p_m \cdot R, \quad \sigma_2 \cong \frac{p_m \cdot R}{2}.$$

An den beiden Enden der Hülle werden die Winkel δ zwar größer, jedoch sind hier die Biegemomente und Schubspannungen so gering, daß die Vernachlässigung für das Endresultat, nämlich die Form der elastischen Linie, ohne Bedeutung bleibt.

Die Bestimmung der Durchmesserdehnung und Längskontraktion.

Aus den Spannungen σ_1 und σ_2 ergibt sich mit Hilfe der Normalcharakteristik die Durchmesserdehnung Δd und Längskontraktion Δl für jeden Querschnitt der Hülle.

Diese Werte stellen aus den bei Versuch II, Seite 17, angegebenen Gründen nur erste Annäherungen dar. Mit ihrer Hilfe ergeben sich die Spannungen zweiter Annäherung, d. h. die dem gedehnten Durchmesser entsprechenden, jedoch auf ungedehnten Durchmesser bezogenen Spannungen σ_1' und σ_2' gemäß Fig. 67 wie folgt:

$$\sigma_1' = \sigma_1(1 + \Delta d)(1 - \Delta l)$$

und:

$$\sigma_2' = \sigma_2(1 + \Delta d)^2.$$

Ihre Einsetzung in die Normalcharakteristik liefert Durchmesserdehnung und Längskontraktion in zweiter Annäherung, deren Genauigkeit in jedem Falle ausreicht.

Besteht die Hülle aus Querbahnen, so vermindert sich streng genommen die mittlere Querspannung durch den verstärkenden Einfluß der Nähte. Beträgt die Überlappung an der Naht x % der Bahnbreite, so ist σ_1 durch den Faktor $\frac{100 + x}{100}$ zu dividieren.

Das gleiche gilt für die Längsspannung, falls die Hülle aus Längsbahnen besteht.

Diese Korrektur wird wegen ihres geringen Einflusses auf das Endresultat der Rechnung in der Regel unterbleiben können.

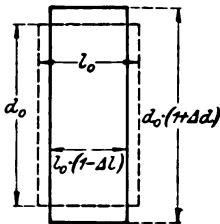


Fig. 67.

Die Spannungen erster u. zweiter Annäherung.

Die Biegung der gasgefüllten Hülle.

Die Naviersche Hypothese.

Für die Biegungsrechnungen der Hülle kommen diejenigen Methoden sinngemäß zur Anwendung, die in der technischen Mechanik für die Biegung des geraden, in seiner Mittelebene beliebig belasteten Stabes von symmetrischem Querschnitt und veränderlichem Trägheitsmoment entwickelt sind.

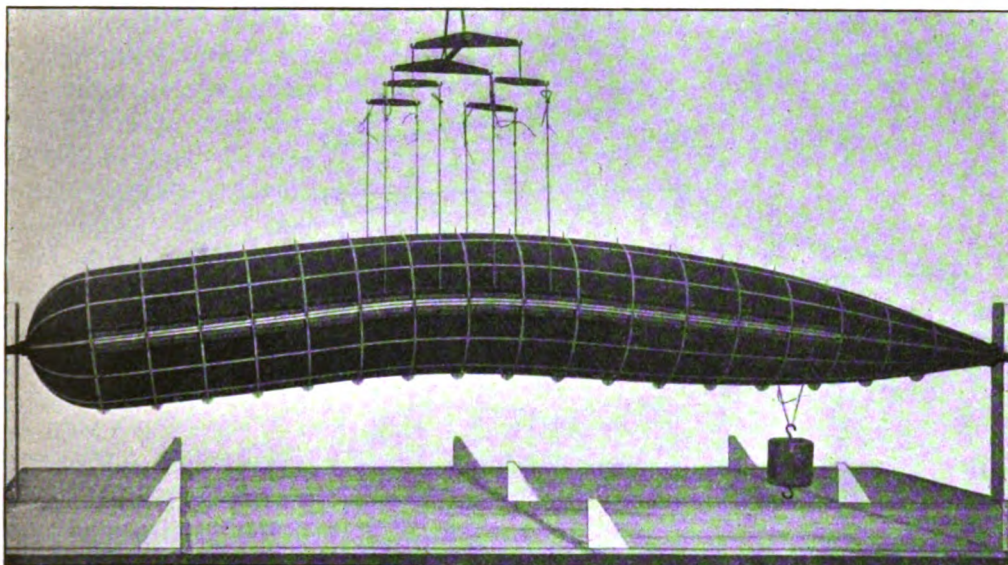


Fig. 68. Wassergefülltes Modell. Kopf-Aufnahme (A).

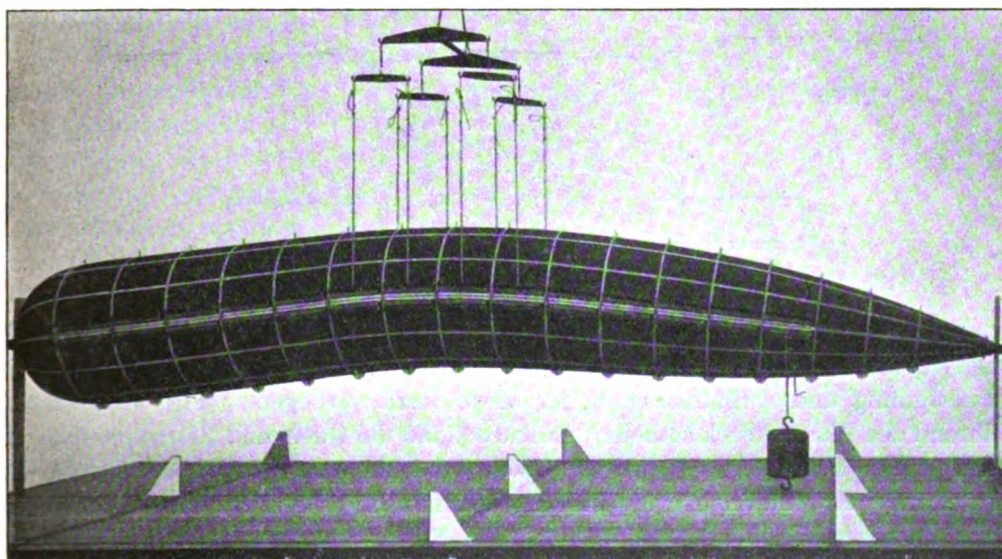


Fig. 69. Wassergefülltes Modell. Schwanz-Aufnahme (B).

Die Grundlage für diese Methoden bildet die Naviersche Hypothese, wonach ebene Querschnitte bei der Biegung eben bleiben.

Um einen Anhaltspunkt über ihre Gültigkeit für gebogene Ballonhüllen zu gewinnen, wurde aus dem dreifachen Stoff G der Stofftabelle eine Modell von 20 cm Durchmesser und ca. 150 cm Länge hergestellt, im luftgefüllten, d. h. praktisch biegungs-

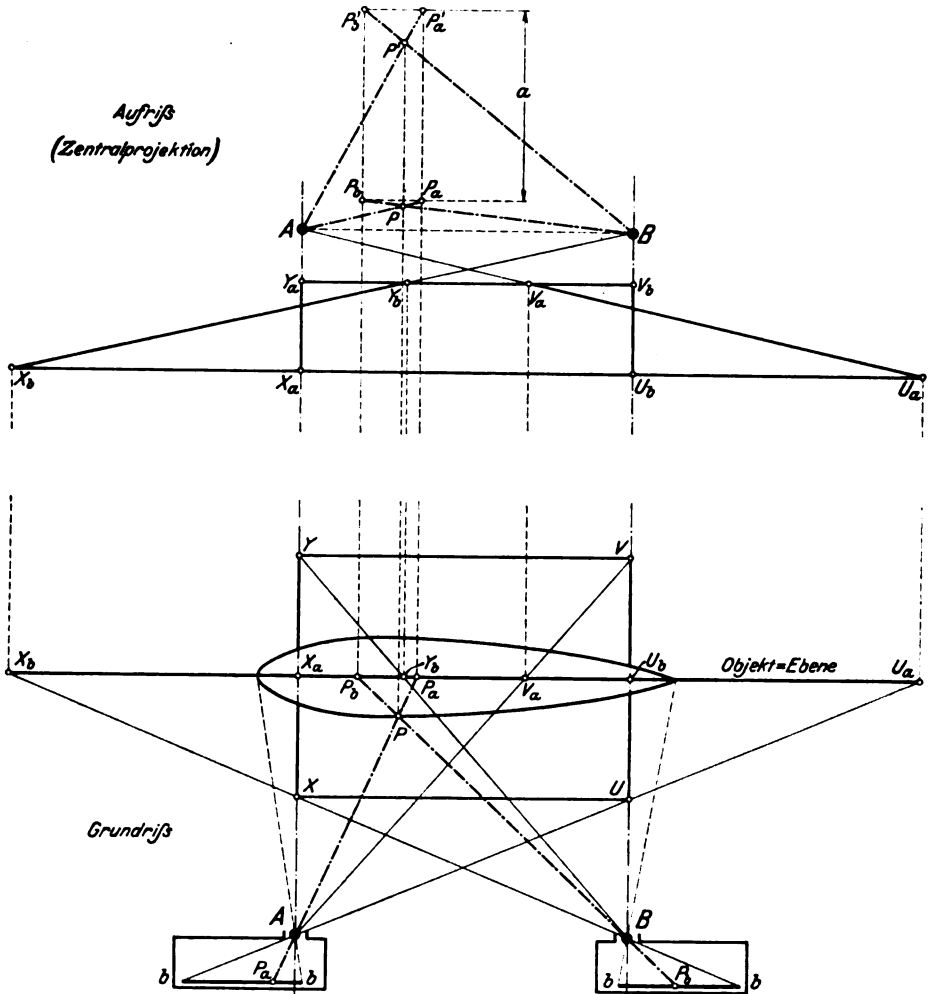


Fig. 70. Beziehung zwischen der fotografischen Zentralprojektion und der zeichnerischen Parallelprojektion.

freien Zustande, drehbar gelagert, mit Querschnittslinien versehen und sodann durch Wasserfüllung und Aufhängung in der Mitte stark verbogen. (Fig. 68 und 69.) Während der Wasserdruck so bemessen wurde, daß die Quer- und Längsspannungen denen eines Prallballons heutiger Größe gleichkommen, wurden durch die kurze Länge der Aufhängung die Biegungsspannungen erheblich über die praktisch vorkommenden Werte gesteigert.

Das Modell blieb 3 Wochen unter Belastung und erreichte in dieser Zeit einen nahezu festen Grenzwert der Verbiegung.

Die Beobachtung der Querschnitte erfolgte durch Anvisieren längs der Kante eines Lineals. Eine Abweichung von der ebenen Form hätte sich besonders an den beiden Enden der Hülle bemerkbar machen müssen, konnte jedoch weder nach der einen noch nach der anderen Seite hin festgestellt werden. Geringe Ungenauigkeiten, die unregelmäßig und mit wechselnden Vorzeichen auftraten, sind in Fehlern bei der von Hand erfolgten Aufzeichnung der Querschnittslinien begründet.

Aus der Photographie kann die Querschnittsform unmittelbar nur in der Ebene des Bildmittelpunktes beobachtet werden; alle anderen Querschnitte stellen sich infolge der photographischen Zentralprojektion in Ellipsenform dar. Ihre Übertragung in die zur Beurteilung geeignete Parallelprojektion erfolgt am einfachsten mit Hilfe einer stereoskopischen Doppelaufnahme, wie sie in Fig. 70 und 71 angegeben ist:

Das Modell wurde über der Mitte eines rechtwinkligen Liniensystems X-Y-V-U aufgehängt und von 2 Punkten A und B aus (Fig. 70, Grundriß)

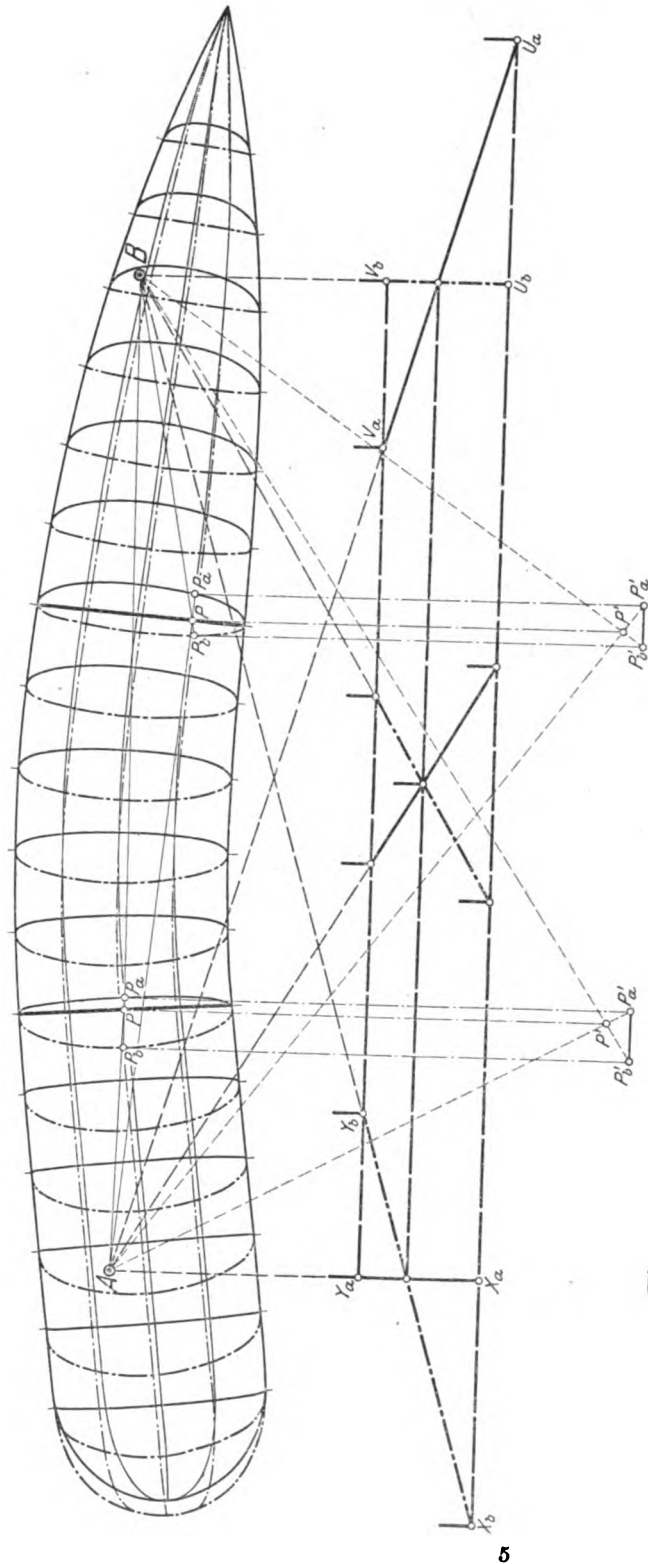


Fig. 71. Durchführung der Querschnittskontrolle nach den Aufnahmen der Fig. 68 und 69.

bei gleichem Bildabstand photographiert. Die beiden Aufnahmen (Fig 68 und 69) sind in Fig. 70 (Aufriß) übereinanderliegend gedacht. Die Bestimmung ihrer Bildmittelpunkte A und B ist mit Hilfe des mitphotographierten Liniensystems sehr einfach. Zu dem Zwecke kann man im Grundriß die Objektebene mit der Bildebene $b-b$ vertauscht denken und findet durch die Fortsetzung der Bildstrahlen AX, AV, AU usw. die Lage der Punkte X, V, U usw. im Bilde. (X_a, V_a, U_a usw.) Der Schnitt der zusammengehörigen Linien $X_a Y_a, V_a U_a$ usw. liefert die Bildmittelpunkte A und B im Aufriß.

Ist sodann P ein beliebiger Punkt des Objekts, so wird er infolge der photographischen Zentralprojektion auf den Bildebenen in P_a und P_b erscheinen. Zieht man nun im Aufriß, d. h. in den übereinander gelegten Aufnahmen die Verbindungsstrahlen AP_a und BP_b , so ergibt der Schnittpunkt die Lage von P in der erwünschten Parallelprojektion. Da die beiden Strahlen AP_a und BP_b in der Regel spitze Schnitte liefern, so ist es zweckmäßig, die Punkte P_a und P_b um eine beliebige Strecke a parallel zu verlegen nach P'_a und P'_b und den nunmehr unter genügend großem Winkel erhaltenen Schnittpunkt P' zur Kontrolle zurückzuloten.

Auf diese Weise wurden die beiden Aufnahmen (Fig. 68 und 69) bearbeitet. Um die Lage der höchsten und tiefsten Querschnittspunkte deutlich erkennbar zu machen, wurden am Rücken und Bauch des Modells kleine Papierflossen aufgeklebt, deren Mittelstriche in den Querschnittslinien einschlugen. Zur Erzielung einer genügenden zeichnerischen Genauigkeit des Verfahrens wurden die photographischen Platten (13×18 cm) nicht selbst verwendet, sondern Vergrößerungen davon angefertigt, in denen der Durchmesser des Modells ca. 60 mm betrug. Beide Vergrößerungen wurden auf ein gemeinsames Blatt (Fig. 71) durchgepaust, die Kopfaufnahme (A) in ausgezogenen, die Schwanzaufnahme (B) in strichpunktieren Linien. Die Untersuchung, die für 2 Querschnitte besonders angedeutet ist, ergab das gleiche Resultat wie die Beobachtung durch Visieren. Bei der angewendeten Vergrößerung war eine Abweichung nach keiner Seite wahrnehmbar.

Es erscheint hiernach statthaft, auch bei Ballonhüllen der Biegungsrechnung die Naviersche Hypothese zugrunde zu legen.

Die Biegemomente.

Der erste Schritt der Biegungsrechnung ist die Bestimmung der an der Hülle wirkenden Momente in Form einer Momenten-Kurve.

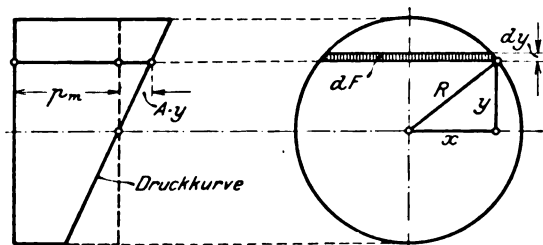


Fig. 72. Ermittlung des Gasdruckmomentes.

Subtrahiert man zunächst über der ganzen Länge der Hülle die Schwerkraft von den Auftriebskräften, so erhält man die Belastungskurve und aus dieser in bekannter Weise durch zweimalige Integration zuerst die Schubkurve und dann die Momentenkurve. Über diese Momente der Vertikalkräfte lagern sich nun noch 2 weitere Momente (siehe Seite 58), nämlich das „Gasdruckmoment“ und das „Takelungsmoment“.

Ersteres entsteht dadurch, daß der Gasdruck (Fig. 72) über der Querschnittsmitte um den Betrag $A \cdot y$ größer, unter derselben um ebensoviel kleiner ist als der mittlere Druck p_m . Es berechnet sich danach zu:

$$\begin{aligned} M_G &= 2 \int_{y=0}^{y=R} A \cdot y \cdot dF \cdot y \\ &= 2 \int A \cdot y \cdot 2 \cdot x \cdot y \cdot dy. \end{aligned}$$

Für die Kreisform ist:

$$x = \sqrt{R^2 - y^2},$$

und wir erhalten:

$$M_G = 4 A \int y^2 \cdot \sqrt{R^2 - y^2} \cdot dy.$$

Die Auflösung des Integrals ergibt:

$$\int y^2 \sqrt{R^2 - y^2} \cdot dy = \frac{R^4}{8} \cdot \arcsin \frac{y}{R} + \sqrt{R^2 - y^2} \cdot \left(\frac{y^3}{4} - \frac{y \cdot R^2}{8} \right).$$

Die Einsetzung der Integrationsgrenzen führt auf die Form:

$$M_G = \frac{\pi}{4} \cdot R^4 \cdot A.$$

Das Takelungsmoment für den beliebigen Querschnitt AB (Fig. 73), unter dem wir gemäß dem auf S. 58 Gesagten nur das Moment der in der Achsenrichtung wirkenden Takelungskräfte verstehen wollen, berechnet sich wie folgt: Ist T eine am Gurt angreifende Seilkraft, H ihre Horizontalkomponente und e der Abstand des Gurtes von der neutralen Faser, so ist der endliche Beitrag, den das Seil T zu dem Takelungsmoment liefert:

$$\Delta M_T = H \cdot e.$$

Das bei AB herrschende Takelungsmoment ist mithin:

$$M_T = \Sigma H \cdot e,$$

gerechnet von dem Ende des Gurtes bis zum Querschnitt.

Greift die Takelung an zahlreichen Punkten des Gurtes an, oder tritt an ihre Stelle eine Stoffaufhängung, so ersetzt man zweckmäßig den endlichen Zuwachs ΔM_T durch das Differential dM_T und erhält dann M_T als Integralwert zwischen den angegebenen Grenzen. Zu diesem Zwecke kann man zunächst die Horizontalkomponenten der Takelungskräfte in Form einer Kurve aufzeichnen. Durch Multiplikation mit den Abständen e ergibt sich die Differentialkurve der Takelungsmomente und durch Integration die Kurve der Takelungsmomente selbst.

Während die Momente der Vertikallasten die Hülle in der Regel an den Enden in die Höhe biegen, haben die Gasdruck- und Takelungsmomente die gegenteilige Wirkung. Für die resultierende Biegung der Hülle kommt ihre Differenz in Betracht.

Die Biegungsspannungen.

Die durch die Momente erzeugten positiven und negativen Biegungsspannungen lagern sich über die stets positiven Längsspannungen der luftgefüllten Hülle.

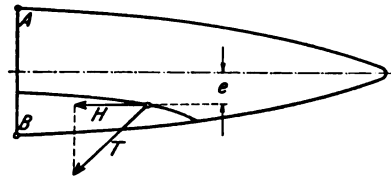


Fig. 73. Ermittlung des Takelungsmomentes.

Ihre Beziehung zu den Momenten ist mit Bezug auf Fig. 74 gegeben durch die Gleichung:

$$M_b = \int \sigma \cdot ds \cdot y.$$

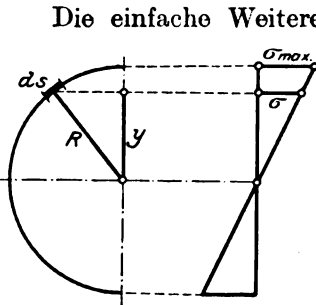


Fig. 74. Biegungsspannung.

Die einfache Weiterentwicklung dieses Integrals ist an die Bedingung des Hookeschen Gesetzes gebunden, wonach der Elastizitätsmodul E, der für Stoffe die Dimension kg/m hat, über den ganzen Querschnitt der gleiche ist. Diese Bedingung ist nun, wie die Normalcharakteristik zeigt, im allgemeinen nicht erfüllt. Jedoch ist der Fehler, der mit ihrer Annahme gemacht wird, nicht allzu groß, vorausgesetzt, daß die Größe von E, d. h. der Differentialquotient der Dehnungskurve, der Normalcharakteristik an der richtigen Stelle entnommen wird. Unter dieser Voraussetzung können wir also der im Maschinenbau-

vorgezeichneten Weiterentwicklung der Biegleichung folgen:

$$\sigma = \sigma_{max} \cdot \frac{y}{R}$$

und damit:

$$M_b = \frac{\sigma_{max}}{R} \int y^2 \cdot ds = \frac{\sigma_{max}}{R} \cdot J.$$

Hierin ist J im Zusammenhang damit, daß die Stoffspannungen auf die Breite des Stoffes, nicht auf seine Querschnittsfläche bezogen werden, das Trägheitsmoment einer Linie, in unserem Falle der Kreislinie. Es hat nach bekannter Beziehung die Größe:

$$J = \pi \cdot R^3.$$

Hiermit ergibt sich die Biegungsspannung in der äußersten Faser zu:

$$\sigma_{max} = \pm \frac{M_b}{\pi R^2}.$$

Besteht die Hülle aus Längsbahnen, so ist das Trägheitsmoment J infolge des verstärkenden Einflusses der Nähte um einen der Überlappung entsprechenden Wert höher als πR^3 . (Siehe auch Seite 62.) Die praktischen Werte dieser Korrektur betragen ca. 3 bis 6 %, an den Enden der Hülle je nach Querschnitt noch mehr.

Die Form der Biegungslinie.

Die Gleichung der elastischen Linie hat die Form:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M_b}{E \cdot J} \dots \dots \dots \text{(Gl. 8)}$$

Wie schon oben angedeutet, ist hierin E zwar innerhalb jedes einzelnen Querschnittes, jedoch nicht innerhalb der ganzen Hülle konstant. Vielmehr ist zu jedem Querschnitt dasjenige E aufzusuchen, welches gemäß der Normalcharakteristik den für die luftgefüllte Hülle ermittelten Normalspannungen σ_1 und σ_2 entspricht.

Bei den Längsspannungen ist hierbei die Entlastung durch die Horizontal-komponenten der Takelungskräfte zu berücksichtigen, da diese unter Umständen den Elastizitätsmodul stark beeinflussen.

Streng genommen ist diese Berücksichtigung schon bei der Bestimmung der Durchmesserdehnung und Längskontraktion der luftgefüllten Hülle erforderlich. Für die praktische Berechnung genügt es jedoch, wenn sie an der vorliegenden Stelle in den Gang der Rechnung eintritt.

Da mit der Bestimmung von E nunmehr alle 3 Faktoren M_b , E und J für die Gleichung der elastischen Linie bekannt sind, so kann die Kurve $\frac{d^2y}{dx^2}$ aufgezeichnet und daraus durch zweimalige Integration in bekannter Weise die Form der elastischen Linie, wie sie sich durch reine Biegung ergibt, entwickelt werden.

Die Schiebung der gasgefüllten Hülle.

Im praktischen Maschinenbau pflegt man bei Balken, die im Vergleich zu ihrem Querschnitt eine gewisse Länge haben, die Formänderung durch die Schubkräfte zu vernachlässigen. Für Ballonhüllen ist diese Vernachlässigung nicht zulässig. Denn die Änderung der Hüllenform durch die Schubspannungen macht in der Regel einen beträchtlichen Teil der Gesamtverbiegung aus.

Die Verteilung der Schubspannungen über den Querschnitt.

Die Gleichgewichtsbedingung zwischen den Biegungs- und Schubspannungen, die an dem abgegrenzten, schraffierten Stück der Hülle (Fig. 75) angreifen, lautet:

$$2 \tau \cdot dl = \int_y^R d\sigma \cdot ds.$$

Hierin gelten die bekannten Beziehungen:

$$d\sigma = d \frac{y \cdot M_b}{J} = \frac{y}{J} \cdot dM_b$$

und:

$$dM_b = V \cdot dl,$$

wobei V die im Querschnitt herrschende Schubkraft bedeutet. Damit ergibt sich:

$$2 \tau \cdot dl = \int_y^R \frac{y}{J} \cdot V \cdot dl \cdot ds,$$

woraus folgt:

$$\tau = \frac{V}{2J} \int_y^R y \cdot ds = \frac{V}{2J} \cdot S.$$

Das statische Moment S des abgegrenzten Hüllenteils, bezogen auf die Schwerachse, ergibt für den Fall des kreisförmigen Querschnitts den einfachen Ausdruck:

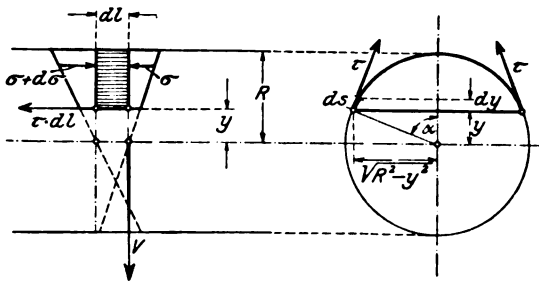


Fig. 75. Beziehung zwischen Biegemoment und Schubspannung.

$$S = \int y \cdot ds = R \cdot \int \frac{y}{\sqrt{R^2 - y^2}} \cdot dy$$

$$= 2 R \cdot \sqrt{R^2 - y^2} = 2 R^2 \cdot \sin \alpha.$$

Hiermit findet sich die Schubspannung τ zu:

$$\tau = \frac{V}{2 \pi R^3} \cdot 2 R^2 \cdot \sin \alpha = \frac{V}{\pi \cdot R} \cdot \sin \alpha \quad \text{(Gl. 9)}$$

d. h. ihre Verteilung über den Querschnitt wird zeichnerisch durch einen Kreis vom Radius $\frac{V}{\pi \cdot R}$ dargestellt. Ihren größten Wert erreicht die Schubspannung in der Mitte:

$$\tau_{\max} = \frac{V}{\pi \cdot R}.$$

Zum gleichen Resultat führt folgende Betrachtung: Denken wir uns in Fig. 76 den Querschnitt m—m gegenüberdem nächstfolgenden n—n durch die Schubkraft V um die Strecke $\gamma \cdot dl$ parallel verschoben, und vernachlässigen wir dabei die geringe Winkeländerung, die durch die gleichzeitig auftretenden Biegungsspannungen hervorgerufen wird, so wird auch der beliebige Punkt P des Querschnittes m—m sich um die gleiche Strecke $\gamma \cdot dl$ nach P₁ verschieben. Zerlegen wir diese Verschiebung in eine radiale Komponente von der Größe:

$$\gamma \cdot dl \cdot \cos \alpha$$

und in eine tangentielle von der Größe:

$$\gamma \cdot dl \cdot \sin \alpha,$$

so wird nur die letztere eine Schubspannung im Stoff zur Folge haben. Da hierbei der Wert $\gamma \cdot dl$ konstant ist, so folgt, daß die Schubspannungsverteilung dem Sinusgesetz folgt, d. h.:

$$\tau = \tau_{\max} \cdot \sin \alpha.$$

Die auf das Längenelement entfallende Schubkraft ergibt sich zu:

$$\tau \cdot ds.$$

Hievon nimmt wiederum nur eine Komponente:

$$\tau \cdot ds \cdot \sin \alpha = \tau_{\max} \cdot \sin^2 \alpha \cdot ds$$

an der Aufnahme des Gesamtschubes V teil; d. h. wir erhalten die Beziehung:

$$V = \tau_{\max} \int \sin^2 \alpha \cdot ds = \tau_{\max} \int \sin \alpha \cdot dy.$$

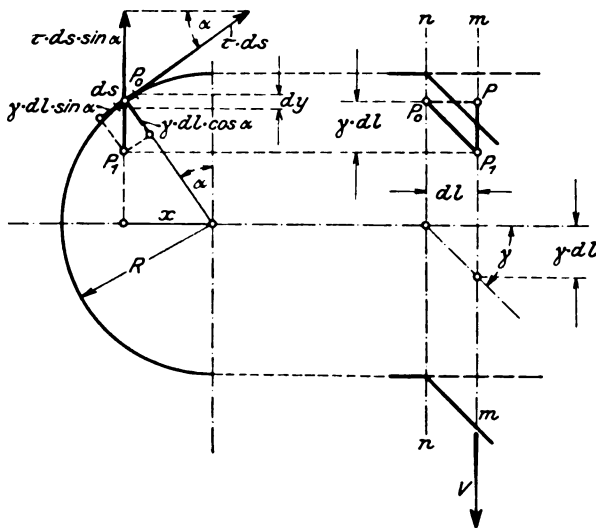


Fig. 76. Verteilung der Schubspannungen beim zylindrischen Hüllenteil.

Nun ist:

$$\sin \alpha = \frac{x}{R},$$

so daß wir erhalten:

$$V = \frac{\tau_{\max}}{R} \cdot \int x \cdot dy.$$

Das Integral ist in der Fig. 76 dargestellt durch die Kreisfläche: $\pi \cdot R^2$, so daß sich ergibt:

$$V = \tau_{\max} \cdot \pi \cdot R,$$

oder wie oben:

$$\tau_{\max} = \frac{V}{\pi \cdot R}.$$

Die Übereinstimmung der beiden vorangegangenen Berechnungen besteht nur beim Kreisquerschnitt. Sie ist in gewissem Sinne eine Bestätigung der an dem Modell (Seite 63) hinsichtlich der Navierschen Hypothese angestellten Beobachtungen. Sie besagt nichts anderes, als daß diejenige Querschnittsverzerrung, die bei gebogenen Stäben durch die Schubspannungen hervorgerufen wird, beim Kreisquerschnitt (besser gesagt: Kreisringquerschnitt) unterbleibt.

Die in Fig. 76 für zylindrische Hüllen durchgeführte Betrachtung gilt auch dann noch, wenn der Querschnitt m-m einem konischen Teil der Hülle angehört. Denn wenn wiederum jeder beliebige Punkt P (Fig. 77) sich um das Stück $\gamma \cdot dl$ verschiebt, so wird auch

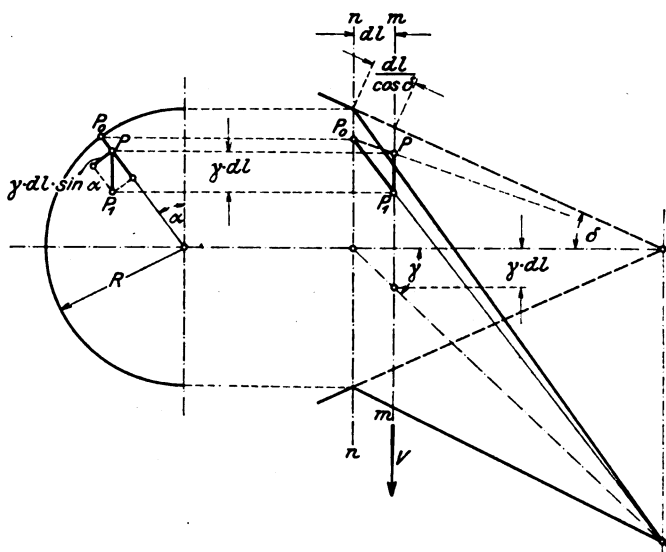


Fig. 77. Verteilung der Schubspannungen beim konischen Hüllenstück.

die tangentielle Komponente dieses Schubes wiederum die Größe $\gamma \cdot dl \cdot \sin \alpha$ haben, d. h. die Verteilung der Schubspannungen wird die gleiche sein wie beim Zylinder. Da auch der zur Verfügung stehende Umfang die gleiche Größe hat ($2 \pi R$), so folgt, daß auch die absoluten Einzelwerte von τ mit denen an der zylindrischen Hülle identisch sind.

Der einzige Unterschied gegenüber dem Zylinder liegt darin, daß der Länge dl der Achse nicht mehr die gleiche, sondern eine etwas größere Stofflänge $\frac{dl}{\cos \delta}$ entspricht, der zufolge die gleiche Schubspannung eine um den Faktor

$\frac{1}{\cos \delta}$ höhere Verschiebung des Querschnitts hervorruft. Jedoch ist dieser Einfluß wie schon bei der Berechnung der Normalspannungen σ_1 und σ_2 (Seite 62) wegen seiner geringen Größe unbedenklich zu vernachlässigen.

Die Form der Schiebungslinie.

Die Schiebung der Hüllennachse ergibt sich aus der maximalen Schubspannung entsprechend der Beziehung:

$$\gamma = \frac{\tau}{G}$$

allgemein zu:

$$\gamma = \frac{V}{G} \cdot \frac{S}{2J} \dots \dots \dots \quad (\text{Gl. 10})$$

und für den Fall des Kreisquerschnittes zu:

$$\gamma = \frac{V}{G \cdot \pi R}$$

In dieser Gleichung ist der Schubmodul G in anloger Weise wie E (Seite 68) aus der Schubcharakteristik für jeden Querschnitt zu entnehmen. Damit kann γ in Form einer Kurve aufgezeichnet und durch einmalige Integration dieser Kurve die allein durch die Schubkräfte erzielte Form der elastischen Linie, d. h. die Schiebungslinie bestimmt werden. Denn ihre Gleichung hat die einfache Form:

$$\frac{dy}{dx} = \gamma.$$

Die algebraische Addition der durch Biegung und Schiebung erzeugten Einzelverformungen liefert die zu erwartende Gesamtverbiegung der Hülle und damit die Grundlage für ihre Korrektur.

Die Form der Hüllenquerschnitte.

Die vorangegangenen Biegungs- und Schiebungsrechnungen gründeten sich — entsprechend dem Ausgangspunkt der luftgefüllten Hülle — auf die 2 Voraussetzungen, daß 1. die Krümmungsradien, 2. die Querspannungen innerhalb des einzelnen Querschnittes konstant seien. Die erstere ergab eine Reihe von Rechnungsvereinfachungen, die zweite gestattete es, einen über den Umfang konstanten Elastizitäts- und Schubmodul anzunehmen.

In Wirklichkeit sind beide Voraussetzungen nur unvollkommen erfüllt. Zwar gibt es Querschnitte, in denen die erste, und solche, in denen die zweite, jedoch keinen einzigen, in dem beide zugleich erfüllt sind.

Der Grund für die Abweichungen von der Gleichförmigkeit der Radien und Spannungen liegt in der von unten nach oben erfolgenden Zunahme des Wanddruckes und in der einschnürenden Wirkung der Lastaufhängung; beide bewirken, daß die Querschnitte von der Kreisform in ein Oval übergehen, dessen größere Achse in der Regel senkrecht liegt.

Der Einfluß auf die Formänderung der elastischen Linie der Hülle ist indirekt, insofern als der ovale Querschnitt eine andere, in der Regel größere Widerstandsfähigkeit gegen Biegung und Schiebung besitzt als der kreisförmige.

Die den Querschnitt beeinflussenden Kräfte.

In der „Deutschen Zeitschrift für Luftschiffahrt“ (1912, Seite 322) hat Prof. M. Weber, Hannover, unter Hinweis auf Ritter, Ingenieurmechanik, Hannover 1876, die Form der Querschnitte untersucht. Seine Betrachtungen beschränken sich auf den Spezialfall, daß an jedem Querschnitt Auftrieb und Schwerkkräfte einander gleich sind, so daß weder Schubspannungen noch Biegungsspannungen entstehen. Diese Annahme trifft nur für wenige Querschnitte der Hülle zu.

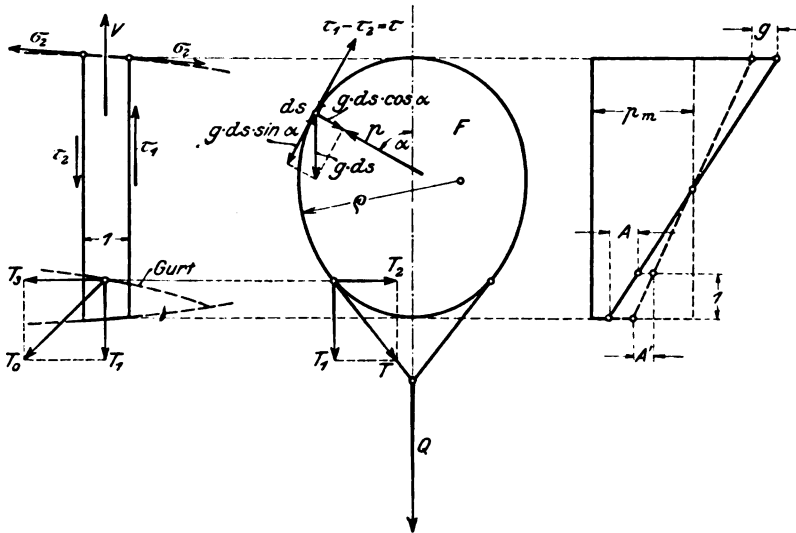


Fig. 78. Allgemeiner Belastungszustand des Hüllenquerschnitts.

Vielmehr ist der allgemeine Belastungsfall in Fig. 78 dargestellt: An einem Stoffring von der Breite 1, herausgeschnitten an beliebiger Stelle der Hülle, wirken folgende „äußeren“ Kräfte:

1. Der Innendruck p in kg/m^2 .
2. Das Eigengewicht des Stoffes g in kg/m^2 .
3. Die Takelungskräfte T_0 mit ihren 3 Komponenten T_1 , T_2 und T_3 .
4. Die Längsspannungen σ_2 .
5. Die Schubspannungen τ_1 und τ_2 .

Von diesen Kräften interessieren uns nur diejenigen, welche die Querspannungen und die Querschnittsform direkt beeinflussen. Wir scheiden also zunächst die axialen Komponenten T_3 der Takelungskräfte aus und bezeichnen im folgenden die Resultierenden aus T_1 und T_2 mit T . (Die am Querschnitt angreifende Last $Q = 2 T_1$.) Ebenso vernachlässigen wir die Längsspannungen σ_2 , da sie für zylindrische und kegelförmige Querschnitte gar keinen, für doppelt gewölbte nur einen sehr geringen Einfluß haben (siehe Seite 62). Ferner setzen wir an Stelle der einander

entgegengesetzt gerichteten, in der Regel ungleichen Schubspannungen τ_1 und τ_2 unter Vernachlässigung ihres Momentes ihre Differenz $\tau_1 - \tau_2$ und nennen diese der Einfachheit halber die Schubspannung τ des Ringes, ihre Gesamtwirkung in vertikaler Richtung die Schubkraft V des Ringes. Wir gebrauchen also für den endlichen Zuwachs die Bezeichnung des Gesamtwertes.

Endlich können wir mit dem Eigengewicht der Hülle G_H , das in der Praxis etwa 10 bis 20 % des Auftriebes $A \cdot F$ ausmacht, eine Vereinfachung vornehmen:

Die Schwerkraft g pro Flächeneinheit zerfällt an jeder Stelle des Querschnittes in eine radiale Komponente $g \cdot \cos \alpha$ und eine tangentiale $g \cdot \sin \alpha$. Erstere ist in der unteren Querschnittshälfte dem Wanddruck p gleich-, in der oberen entgegengerichtet. Ihre Größe stellt, entsprechend dem Faktor $\cos \alpha$, eine lineare Funktion der Höhe dar, und zwar für die Kreisform genau, für die ovale Form in starker Annäherung. Trägt man sie daher vom Wanddruck p aus nach der positiven bzw. negativen Seite hin ab (Fig. 78, rechts), so erhält man eine neue (gestrichelte) wiederum geradlinige Druckkurve. Sie entspricht nicht mehr dem Auftrieb A , sondern dem etwas kleineren A' , der sich aus A , dem Hüllengewicht und dem Radius des (angenäherten) Kreises ergibt zu:

$$A' = A - \frac{g}{R}$$

Der Gesamtauftrieb des Querschnittes F beträgt daher nicht mehr $A \cdot F$, sondern nur noch $A' \cdot F$, und im Falle der angenäherten Kreisform:

$$A' \cdot F = A \cdot F - \frac{g}{R} \cdot \pi R^2 = A \cdot F - g \cdot \pi R = A \cdot F - \frac{G_H}{2}$$

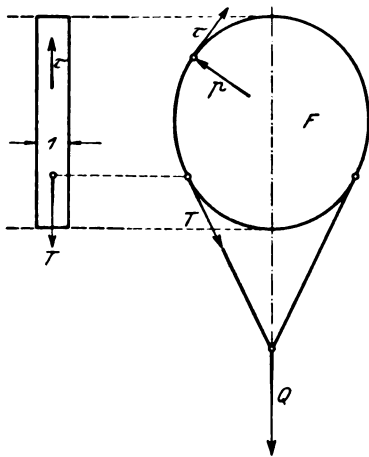


Fig. 79. Belastungszustand des Querschnitts; vereinfachende Annahme.

In der Tat ist die Vertikalsumme der radialen Komponenten $g \cdot ds \cdot \cos \alpha$ gleich dem halben Hüllengewicht.

Die andere Hälfte von G_H ist in den tangentialen Komponenten vereinigt. Diese folgen dem Sinusgesetz und verteilen sich damit über den Querschnitt in gleichem Verhältnis wie die Schubspannungen τ mit ihrer Vertikalsumme V . Sie können also mit den Schubspannungen τ zu einer Größe τ' zusammengefaßt werden, deren Vertikalsumme nicht mehr V ist, sondern:

$$V' = V - \frac{G_H}{2},$$

wobei das positive Vorzeichen von V entsprechend der Auftriebsgröße $A \cdot F$ für die aufwärts gerichtete Schubkraft gilt.

Die Berücksichtigung des Hüllengewichtes bezüglich der Querschnittsform erfolgt also dadurch, daß man seine eine Hälfte vom Auftrieb, seine andere von der Schubkraft in Abzug bringt. Aus der Gleichung:

$$Q + G_H = A \cdot F + V$$

wird also die neue:

$$Q = A' \cdot F + V'$$

Im folgenden werden der Einfachheit halber die Indices weggelassen und unter A, V und τ die reduzierten Werte verstanden.

Damit erhalten wir an Stelle der Fig. 78 das einfachere Bild Fig. 79, in welchem nur noch der Wanddruck, die Schubspannungen und die Takelungskräfte zur Wirkung kommen. Hierbei sind drei Belastungsfälle zu unterscheiden:

I. Der Querschnitt ist frei von angehängten Lasten, d. h. sein gesamter Auftrieb muß durch abwärts gerichtete Schubspannungen aufgenommen werden.

$$Q = 0 \quad A \cdot F = -V.$$

II. Die angehängte Last ist gerade so groß, daß sie dem Auftrieb das Gleichgewicht hält.

$$Q = A F \quad V = 0.$$

III. Die Last ist größer oder kleiner als der Auftrieb, so daß der Rest durch aufwärts oder abwärts gerichtete Schubspannungen ausgeglichen werden muß. (Allgemeinster Fall.)

Erster Belastungsfall:

Angehängte Last gleich Null.

Der erste Fall gilt von den freien Hüllenenden mit Ausnahme derjenigen Stellen, an denen die Ruder- und Richtflossen sitzen. Wir wollen zunächst annehmen, der Querschnitt bliebe für diesen Fall kreisförmig, und suchen auf Grund dieser Annahme aus dem Druck p und den Spannungen σ und τ den Krümmungsradius ρ für einen beliebigen Punkt des Umfanges zu berechnen. Wird $\rho = R$, so war die Annahme richtig. (Unter σ sind im folgenden die Querspannungen σ_1 zu verstehen, da wir die Längsspannungen σ_2 ja bereits ausgeschieden haben.)

Allgemein gilt für die Schubspannungen am Kreis (Gleichung 9 Seite 70):

$$\tau = \frac{V}{\pi \cdot R} \cdot \sin \alpha.$$

In unserem Falle ist die Schubkraft des Ringes gleich seinem Auftrieb:

$$V = A \cdot \pi R^2.$$

woraus:

$$\tau = A \cdot R \cdot \sin \alpha.$$

Diese Schubspannungen sind nach unten gerichtet. Sie superponieren sich über die Querspannungen derart (Fig. 80), daß diese von unten (σ_u) über einen Mittelwert (σ_m) nach oben (σ_o) zu ansteigen, gemäß der Beziehung:

$$\sigma = \sigma_m \pm \int \tau \cdot ds.$$

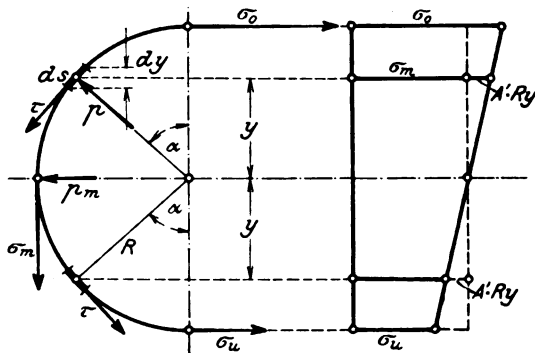


Fig. 80. Beziehung zwischen Querspannungen und Schubspannungen beim unbelasteten Querschnitt.

Nun ist:

$$ds = \frac{dy}{\sin \alpha},$$

d. h.:

$$\int \tau \cdot ds = \int A R \cdot dy.$$

Damit ergibt sich:

$$\sigma = \sigma_m \pm \int A R \cdot dy = \sigma_m \pm A \cdot R \cdot y,$$

d. h. die Querspannungen steigen von unten nach oben linear an. Für die Grenzwerte ergibt sich:

$$\sigma_o = \sigma_m + A R^2$$

und:

$$\sigma_u = \sigma_m - A R^2,$$

damit:

$$\sigma_m = \frac{1}{2} (\sigma_o + \sigma_u).$$

Nun gilt in der Horizontalen die Gleichgewichtsbedingung:

$$\sigma_o + \sigma_u = 2 R \cdot p_m.$$

Also:

$$\sigma_m = p_m \cdot R.$$

Hieraus folgt:

$$\sigma = p_m \cdot R \pm A R y = R (p_m \pm A y).$$

Nun ergibt sich der gesuchte Krümmungsradius als Quotient aus Spannung und Druck (Gleichung 7 Seite 60), mithin:

$$\rho = \frac{\sigma}{p} = \frac{R \cdot (p_m \pm A y)}{p_m \pm A y} = R,$$

d. h. in Übereinstimmung mit unserer Annahme bleiben alle freien Hüllenquerschnitte kreisförmig.

Zweiter Belastungsfall:

Last gleich Auftrieb.

Hier gilt die von Prof. Weber angeführte Rittersche Ableitung, wonach die Querspannungen über den Umfang konstant sind. Der Vollständigkeit halber sei das Wesentliche dieser Ableitung in der Anwendung auf die Ballonhülle hier eingefügt.

Die Gleichungen für Querspannung und Krümmungsradius.

In Fig. 81 ist der zu untersuchende Querschnitt in ein Koordinatensystem eingetragen, in dessen X-Achse der Gasdruck $p = 0$ ist. Die Querspannung σ in dem beliebigen Punkte P kann zerlegt werden in die beiden Komponenten V und H. Ihre Größen ergeben sich aus den Gleichgewichtsbedingungen an dem ausgeschnittenen Stoffstück O P wie folgt:

$$V = \int_0^P p \cdot dx = A \cdot \int y dx$$

und:

$$H = \sigma_0 - (y_0 - y) \frac{A y_0 + A y}{2} = \sigma_0 - \frac{A}{2} \cdot (y_0^2 - y^2).$$

Das Verhältnis von V zu H ist die Richtungstangente der Querschnittskurve, und zwar, da mit zunehmendem x die Höhe y abnimmt, mit negativem Vorzeichen:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx} = -\frac{V}{H},$$

woraus sich ergibt:

$$\left[\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2) \right] \cdot \frac{dy}{dx} = -A \cdot \int y \, dx.$$

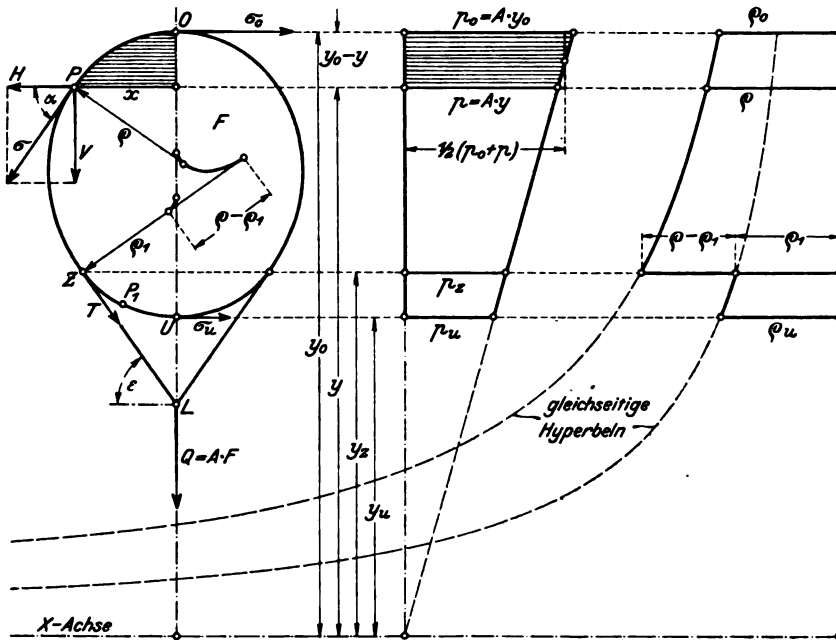


Fig. 81. Ermittlung der Querschnittsform bei Gleichgewicht zwischen Last und Auftrieb.

Die mathematische Weiterentwicklung dieser Gleichung hat den Zweck, einen Ausdruck für den Krümmungsradius ρ zu finden, und geht nach Ritter folgenden Weg:

Differenzieren beide Seiten:

$$\left[\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2) \right] \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{dy}{dx} \left[0 - \frac{A}{2} (0 - 2 y \, dy) \right] = -A \cdot y \, dx$$

oder:

$$\left[\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2) \right] \frac{d^2 y}{dx^2} + A \cdot y \cdot \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = -A \cdot y.$$

woraus:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-A \cdot y \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]}{\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2)} \dots \dots \dots \text{(Gl. 11)}$$

Durch Einsetzung von:

$$\frac{dy}{dx} = u$$

geht die Gleichung über in:

$$\frac{du}{dx} = \frac{-A y (1 + u^2)}{\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2)}$$

Multipliziere links mit $2 u dx$, rechts mit $2 dy$, was gemäß der Einsetzung dasselbe ist:

$$2 u du = \frac{-2 A \cdot y \cdot dy (1 + u^2)}{\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2)}$$

Dividiere durch $(1 + u^2)$:

$$\frac{2 u du}{1 + u^2} = -2 \cdot \frac{A y dy}{\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2)}$$

Nunmehr steht auf beiden Seiten im Zähler das Differential des Nenners; mithin durch Integration:

$$\ln(1 + u^2) = -2 \cdot \ln \left[\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2) \right] + C.$$

Für den Scheitelpunkt O wird:

$$u = 0 \quad \text{und:} \quad y = y_0,$$

mithin:

$$\ln 1 = -2 \ln (\sigma_0 - 0) + C,$$

oder:

$$C = 2 \ln \sigma_0.$$

Also:

$$\ln(1 + u^2) = -2 \ln \left[\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2) \right] + 2 \ln \sigma_0,$$

woraus:

$$1 + u^2 = \left[\frac{\sigma_0}{\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2)} \right]^2$$

oder:

$$\sigma_0 - \frac{A}{2} (y_0^2 - y^2) = \frac{\sigma_0}{\sqrt{1 + u^2}}.$$

Die Einsetzung dieser Werte in Gleichung 11 (Seite 77) liefert:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-A y \cdot (1 + u^2) \sqrt{1 + u^2}}{\sigma_0}$$

Gemäß der trigonometrischen Beziehung:

$$\sqrt{1 + u^2} = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{1}{\cos \alpha}$$

erhalten wir:

$$\sigma_0 = \frac{-A \cdot y}{\cos^3 \alpha \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}}$$

Nun besteht allgemein folgende Beziehung zwischen dem Krümmungsradius ρ einer Kurve und dem zugehörigen Winkel gemäß Fig. 82:

$$\rho \cdot dx = ds = \frac{dx}{\cos \alpha}$$

Ferner ist:

$$d \operatorname{tg} \alpha = \frac{dx}{\cos^2 \alpha}$$

mithin:

$$da = d \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos^2 \alpha$$

Damit:

$$\rho \cdot d \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos^2 \alpha = \rho \cdot \frac{d^2 y}{dx} \cdot \cos^2 \alpha = \frac{dx}{\cos \alpha}$$

woraus folgt:

$$\frac{1}{\cos^3 \alpha \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}} = \rho$$

Somit erhalten wir oben:

$$\sigma_0 = -A \cdot y \cdot \rho = -p \cdot \rho$$

Nun gilt nach Gleichung 7 (Seite 60) allgemein:

$$\sigma = p \cdot \rho,$$

d. h.:

$$\sigma = -\sigma_0 = \text{const.}$$

Für die Punkte P_1 des Hüllenbauches ergibt sich sinngemäß die gleiche Ableitung. Damit erhalten wir für die Absolutwerte des Krümmungsradius unter Vernachlässigung des negativen Vorzeichens:

$$\rho = \frac{\sigma}{p} = \frac{\sigma}{A \cdot y} = \frac{C}{y},$$

d. h. die Krümmungsradien werden dargestellt durch 2 gleichseitige Hyperbeln (Fig. 81). An dem Berührungspunkte Z der Takelungskraft findet ein Sprung statt von der Größe:

$$\rho - \rho_1 = \frac{T}{p_z} = \frac{A \cdot F}{2 \sin \epsilon \cdot A \cdot y_z} = \frac{F}{2 \sin \epsilon \cdot y_z} \quad \dots \quad (\text{Gl. 12})$$

Rückt der Takelungsgurt immer tiefer, so wird schließlich der Grenzfall erreicht, daß die Last im untersten, d. h. nur in einem einzigen Punkt der Hülle angreift. In diesem Falle ist die Querschnittsform durch eine einzige Hyperbel charakterisiert.

Das Resultat dieses Kapitels, die Gleichförmigkeit der Querspannungen σ , ist durch den Gedankengang des vorigen Kapitels (Last=Null) schon angedeutet. Denn dort wurde der Zuwachs von σ auf das Vorhandensein der Schubspannungen τ

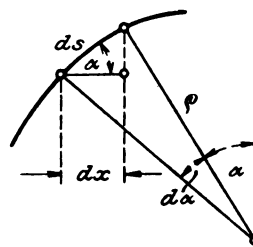


Fig. 82.
Beziehung zwischen dem Krümmungsradius und dem Winkel einer Kurve.

zurückgeführt. Diese Schubspannungen sind nun beim vorliegenden zweiten Belastungsfall gleich Null: an jedem Stoffelement tritt im Gleichgewicht mit den Querspannungen nur der Innendruck, d. h. eine Kraft senkrecht zum Stoffelement auf. Es kann also nur die Richtung, nicht aber die Größe von σ eine Änderung erfahren.

Die praktische Bestimmung der Querschnittsform.

Aus den gefundenen Beziehungen kann für einen gegebenen Umfang und Druck die absolute Größe der Krümmungsradien noch nicht unmittelbar bestimmt werden. Denn der Wert der Konstante C ist unbekannt. Jedoch kann man sich dadurch helfen, daß man zunächst mit Hilfe der Hyperbelbeziehung:

$$\rho \cdot y = C$$

unter Annahme beliebiger Größen von C eine Schar von Querschnitten aufzeichnet und aus diesen rückwärts die zugehörigen Umfänge und Drucke berechnet. Stellt man die so ermittelten Resultate in Form von Kurven zusammen, so kann man für die Zwecke der praktischen Rechnung aus diesen Kurven die gesuchte Querschnittsform durch Interpolation bestimmen.

Fig. 83 zeigt diese Methode: Sie beginnt mit dem Grenzfall, daß die Last im untersten Punkt angreift. Zu einem und demselben Werte von $\rho_0 = 1$ sind mit Hilfe der beliebig angenommenen Größe y_0 (6,25 und 3,71) verschiedene gleichseitige Hyperbeln bestimmt und daraus durch stückweises Kreiseschlagen im Annäherungsverfahren die zugehörigen Querschnittsformen entwickelt. (In Wirklichkeit wurde die Untersuchung mit 4 Querschnitten durchgeführt.) Hierbei ist zur zeichnerischen Kontrolle, insbesondere für den untersten Punkt der Querschnitte, der Winkel α herangezogen. Er bestimmt sich algebraisch aus Fig. 81 wie folgt:

$$\cos \alpha = \frac{H}{\sigma_0} = \frac{\sigma_0 - \frac{A}{2}(y_0^2 - y^2)}{\sigma_0}$$

Hierin ist:

$$\sigma_0 = A \cdot y_0 \cdot \rho_0$$

Mithin:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{y_0^2 - y^2}{2 y_0 \rho_0}$$

Ist α von der Horizontalen aus nach oben aufgetragen, so ändert sich sein Vorzeichen. Hiernach ist z. B. für den tiefsten Punkt des in Fig. 83 links unten gezeichneten Querschnitts:

$$\cos \alpha_u = \frac{3.71^2 - 0.716^2}{2 \cdot 3.71} - 1 = 0,782.$$

Auf diese Weise erhält man eine Schar von Querschnitten, die zunächst bei ein und derselben Krümmung an der Oberkante verschiedenen Innendrucke entsprechen. Da jedoch alle gleichseitigen Hyperbeln untereinander ähnlich sind, so umspannt die Querschnittsschar alle Möglichkeiten überhaupt. Denn alle Figuren,

bei denen das Verhältnis $\frac{y_u}{y_o}$ oder, was dasselbe bedeutet, $\frac{p_u}{p_o}$ das gleiche ist, sind untereinander ähnlich, d. h. haben dieselbe Abweichung von der Kreisform.

Das Verhältnis von $\frac{p_u}{p_o}$ schwankt in der Praxis etwa zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$.

Die Abweichung von der Kreisform wird praktisch genügend genau bestimmt durch das Verhältnis der Höhe H und der Breite B zu dem Durchmesser D des Kreises von gleichem Umfang sowie durch den Winkel α_u im untersten Punkt. Diese drei Werte wurden nun aus den vier untersuchten Querschnitten abgemessen und als Funktion des Druckverhältnisses $\frac{p_u}{p_o}$ zeichnerisch aufgetragen (Fig. 84 oben).

Der Vollständigkeit halber ist noch das Verhältnis der Krümmungsradien ρ_o und ρ_u sowie der Höhe des Rückens $y_o - y_m$ zu dem Durchmesser des Kreises von gleichem Umfang eingezeichnet.

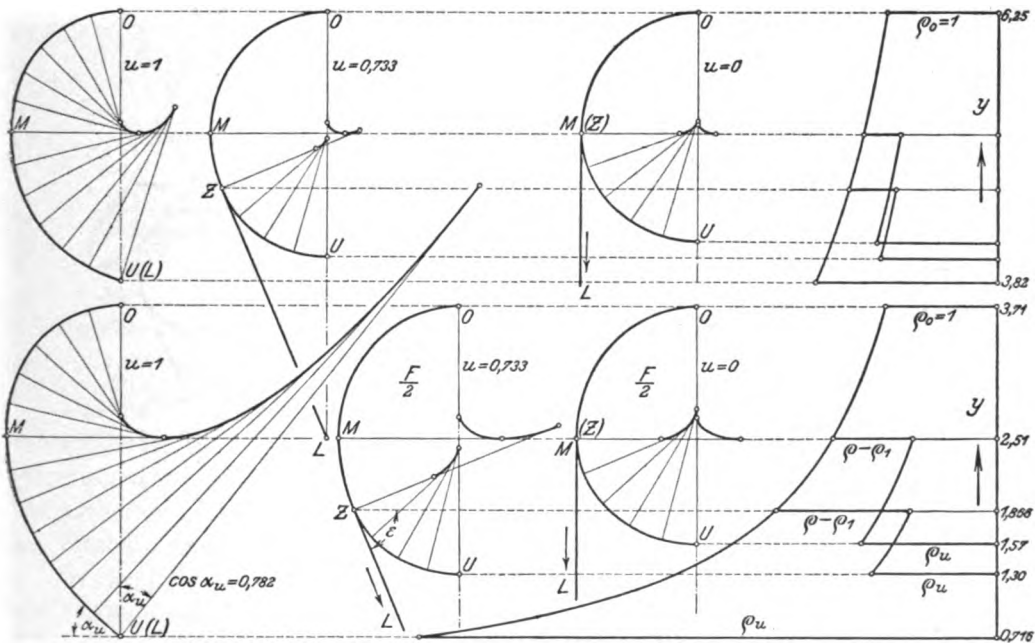


Fig. 83. Zeichnerische Bestimmung der Querschnittsformen.

Die Wahl der Abszisse als Druckverhältnis ermöglicht in der Praxis ein schnelles Auffinden der gesuchten Querschnittskoeffizienten, da durch den projektierten Durchmesser und den gewählten Fahrdruck p_m dies Druckverhältnis ohne weiteres gegeben ist.

Die Querschnittsform für seitlichen Lastangriff kann aus dem bisher ermittelten Grenzfall abgeleitet werden. Jeder Takelung entspricht ein bestimmtes „Takelungsverhältnis“ u , welches in Fig. 81 durch die beiden abgewickelten Längen OZU und OZL gegeben ist. Greift die Last Q im untersten Querschnittspunkt an, so ist $u = 1$. Greift sie im entgegengesetzten Grenzfall in den Punkten der größten Querschnittsbreite derart an, daß beide Hälften der Takelung sich erst

im Unendlichen schneiden, so ist $u = 0$. Zwischen beiden Werten liegen alle Ausführungsmöglichkeiten.

In Fig. 83 sind für das beliebig gewählte Umfungsverhältnis 0,733 die Querschnittsformen aus denen des Grenzfalles ($u = 1$) entwickelt: Zunächst bleibt die

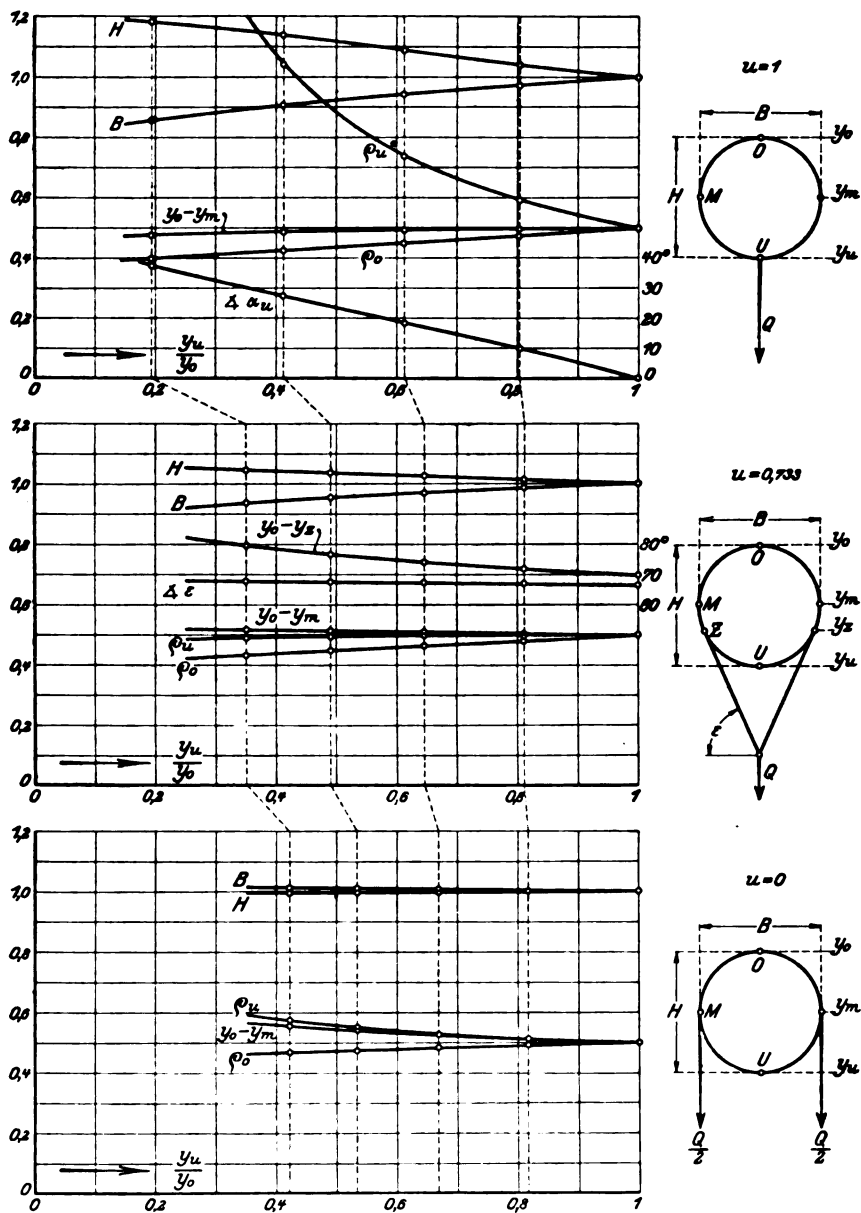


Fig. 84. Abhängigkeit der Querschnittskoeffizienten vom Druck- und Takelungsverhältnis.

Form des Rückens bis zum Angriffspunkt der Takelung Z unverändert, da sie der gleichen Hyperbel (z. B. in der unteren Reihe: $\rho_0 = 1$, $y_0 = 3,71$) entspricht. Sodann ist die Lage der Punkte Z , U und L schätzungsweise angenommen. Die

Kontrolle dieser Schätzung ergibt sich folgendermaßen: Planimetriert man den Inhalt $\frac{F}{2}$ der oberhalb Z gegebenen, unterhalb Z angenommenen Halbfigur, bestimmt man ferner den Sinus des mitangenommenen Winkels ϵ sowie die zugehörige Höhe y_z (1, 866), so kann man aus diesen drei Größen nach Gleichung 12 (Seite 79) die Radiendifferenz $\rho - \rho_1$, um die die zweite gleichseitige Hyperbel gegen die erste zurücksteht, berechnen. Mit Hilfe dieser zweiten Hyperbel ermittelt man nun wiederum durch stückweises Kreiseschlagen die Bauchkurve und sieht zu, ob sie mit der angenommenen übereinstimmt. (In der Regel bringt die zweite Korrektur schon volle Übereinstimmung.)

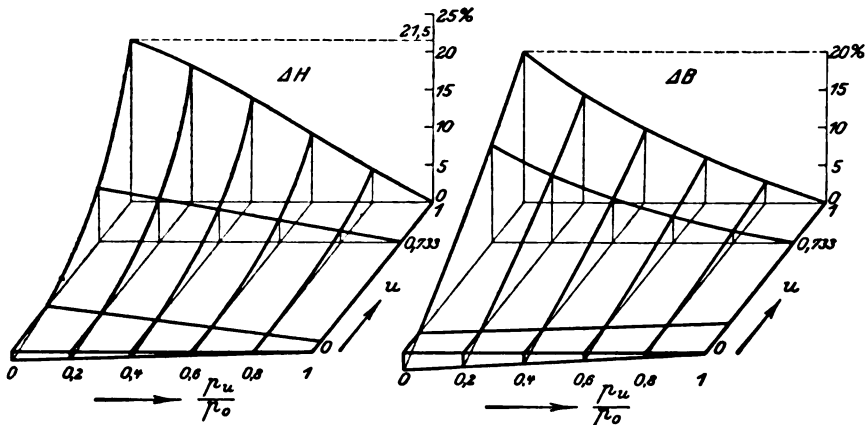


Fig. 85. Abhängigkeit der Höhe und Breite des Querschnitts vom Druck- und Takelungsverhältnis.

Die auf diese Weise ermittelten Querschnittskoeffizienten für $u = 0,733$ sind nun wiederum als Funktion des Druckverhältnisses in dem Diagramm Fig. 84 (Mitte) aufgetragen. Und zwar ist hierbei noch die Höhe des Lastangriffspunktes Z von Ballonoberkante $y_0 - y_z$, bezogen auf den Durchmesser D, eingefügt. An Stelle des Winkels α_u tritt der Winkel ϵ der Takelung.

In gleicher Weise ist in Fig. 83 und 84 noch der zweite Grenzfall, in dem $u = 0$ wird, behandelt. Damit sind wir in der Lage, die Querschnittskoeffizienten aller möglichen Takelungsverhältnisse in je einer Fläche unterzubringen und damit einen sehr einfachen Überblick über das Verhalten der Querschnitte zu gewinnen. So sind beispielsweise die Abweichungen der Höhe und Breite gegenüber dem kreisförmigen Querschnitt in ihrer Abhängigkeit vom Druck- und Takelungsverhältnis in Fig. 85 in Form je einer Fläche dargestellt. Man übersieht sofort, daß die Kreisform umso mehr erhalten bleibt, je größer die Drucke sind, und je höher die Takelung angreift.

Dritter Belastungsfall:

Last größer oder kleiner als Auftrieb.

Belastungsfall III ist der allgemeinste. Sein Verhältnis zu den beiden anderen I und II ist in dem Spannungs- und Krümmungsschema der Fig. 86 charakteri-

siert. Die Spannung steigt für Fall I von unten nach oben dem Druck proportional linear an, da die Radien konstant sind. Im Fall II sind die Spannungen im Rücken und Bauch konstant, während die Größe der Radien durch die beiden gleichseitigen Hyperbeln bestimmt ist. Ist im Falle III die Last $Q < A \cdot F$ (III_a), so liegt das Maximum und Minimum der Spannung in der Ober- und Unterkante, ist dagegen $Q > A \cdot F$ (III_b), so rücken beide an die Stelle Z des Gurtes. Im übrigen ist der Verlauf der Spannungen nicht mehr geradlinig, ebenso wenig wie die Kurve der Krümmungsradien, die einmal zwischen Fall I und II, das andere Mal jenseits Fall II liegen, der gleichseitigen Hyperbel entspricht.

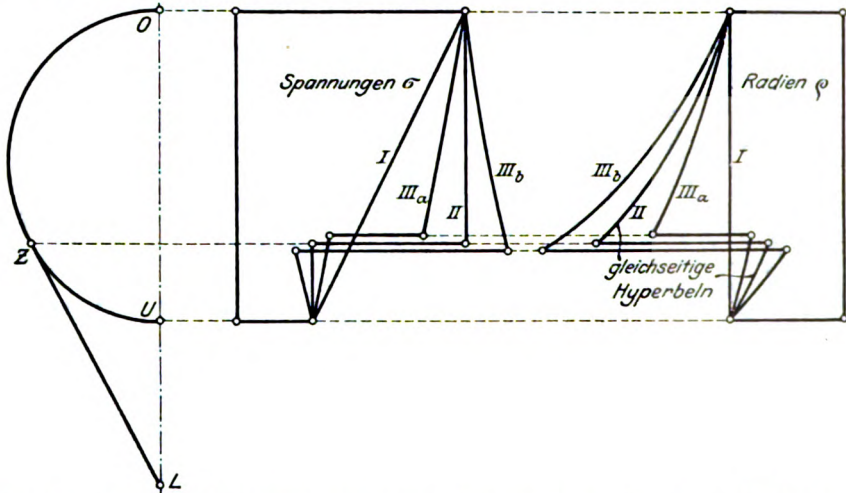


Fig. 86. Schema der Spannungen und Krümmungsradien für verschiedene Belastungsverhältnisse.

Wir sehen schon daraus, daß Fall III einer einfachen Berechnung unzugänglich ist. Am schnellsten kommt man noch zum Ziele, wenn man in Anlehnung an die für Fall II gefundenen Resultate eine Querschnittsform und die zugehörige Kurve der Krümmungsradien, von der wenigstens ein hyperbelähnlicher Verlauf zu erwarten ist, annimmt. Fügt man zu dieser ersten Annahme noch die einer bestimmten Verteilung der Schubspannungen (Seite 69), für deren Größe die Differenz $Q - A \cdot F$ maßgebend ist, hinzu, so kann man mit Hilfe dieser und des angenommenen Innendruckes die Spannungen σ an jeder Stelle des Querschnittes bestimmen und aus diesen wiederum mit Hilfe des Innendruckes die Radien ρ rückwärts errechnen. Der Vergleich mit den angenommenen Radien ergibt die Genauigkeit der Annahme und die Richtschnur für eine Wiederholung des Verfahrens in zweiter Annäherung.

Dieser sehr umständliche Weg lohnt aber nicht der Mühe und kann, wie wir im folgenden Abschnitt sehen werden, durch Interpolation umgangen werden.

Der Einfluß der Querschnittsform auf die Größe der Biegung und Schiebung.

Der Zweck unserer Querschnittsuntersuchung ist die Korrektur der Biegungs- und Schiebungsrechnungen.

Der Einfluß auf die Biegung ist gegeben durch die Veränderung des Trägheitsmomentes J , gemäß der Beziehung:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M_b}{E \cdot J} \dots \dots \dots \text{(Gl. 8, Seite 68)}$$

der Einfluß auf die Schiebung durch die Veränderung der Größe $\frac{J}{S}$ in der Gleichung:

$$\gamma = \frac{V}{G} \cdot \frac{S}{2 J} \dots \dots \dots \text{(Gl. 10, Seite 72)}$$

worin S das statische Moment der einen Querschnittshälfte bezogen auf die Schwerachse bedeutet.

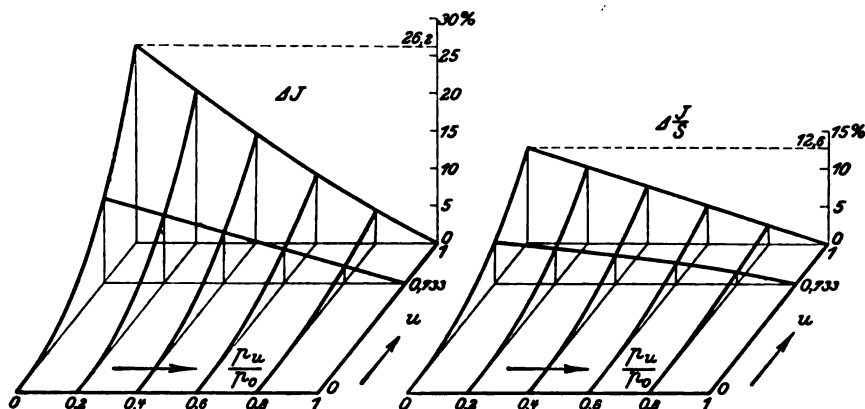


Fig. 87. Abhängigkeit der Biegung und Schiebung vom Druck- und Takelungsverhältnis

Nun lassen sich die beiden Werte J und S ebenso wie z. B. die Breite und Höhe (B, H) aus unseren Querschnittsformen (Fig. 83) zeichnerisch bestimmen und in Raumkoordinaten auftragen. Dies ist in Fig. 87 geschehen. Die beiden Flächen zeigen die Änderung von J und $\frac{J}{S}$ in Prozent der für den kreisrunden Querschnitt geltenden Werte und geben damit einen guten Überblick über den Einfluß der Querschnittsform auf Biegung und Schiebung.

Die praktische Anwendung bei der Biegungs- und Schiebungs-Rechnung.

Bei der Vorausberechnung der Formänderung einer zu entwerfenden Hülle kommt in der Regel nur ein einziges, durch den Abstand der Gondel von der Hülle gegebenes Takelungsverhältnis u in Betracht. Man braucht also von den beiden Flächen der Fig. 87 nur je eine Kurve. Dagegen ist es erwünscht, innerhalb des einen Takelungsverhältnisses außer dem Einfluß des Druckverhältnisses $\frac{p_u}{p_0}$ auch den des „Belastungsverhältnisses“ $\frac{Q}{A \cdot F}$ zu kennen. Für den letzteren haben wir zunächst folgende beiden Anhaltspunkte:

1. Ist $\frac{Q}{A \cdot F} = 0$ (Belastungsfall I), so ist ΔJ und $\Delta \frac{J}{S} = 0$.
2. Ist $\frac{Q}{A \cdot F} = 1$ (Belastungsfall II), so ist ΔJ und $\Delta \frac{J}{S}$ durch Fig. 87 gegeben.

Zu diesen beiden Anhaltspunkten kommt nun noch als dritter hinzu, daß bei unendlich großer Last der Querschnitt sich zu einer vertikalen Linie von der Länge $\pi \cdot R$ zusammenzieht, dessen J und $\frac{J}{S}$ ganz bestimmte, asymptotisch erreichte Grenzwerte haben. Wollen wir also die Abweichungen ΔJ und $\Delta \frac{J}{S}$ als Funktion des Belastungsverhältnisses auftragen, so sind für diese Funktion zwei Punkte A ($x = 0, y = 0$) und B ($x = 1, y = b$) sowie die Asymptote in Abstand a von der Nullachse gegeben (Fig. 88).

Erwägt man nun, daß die Werte J und S mit steigender Last Q sicher eine stetige Zunahme erfahren, so wird man dem wahren Verlauf der gesuchten Funktion $y = f(x)$ durch eine einfach gekrümmte, nach unten konkave Kurve sehr nahe kommen, um so mehr als das Belastungsverhältnis $\frac{Q}{A \cdot F}$ in der Praxis nur in Ausnahmefällen den Wert 3 erreichen dürfte. Die einfachste Form dieser Funktion lautet nun:

$$y = \frac{a \cdot b \cdot x}{(a - b) + b \cdot x}.$$

Sie entsteht dadurch, daß die gerade Linie:

$$y = b \cdot x = \frac{a \cdot b \cdot x}{(a - b) + b}$$

durch die Einführung der wachsenden Abszisse x in das letzte Glied des Nenners stetig abgelenkt und im Unendlichen in die Asymptote: $y = a$ übergeleitet wird.

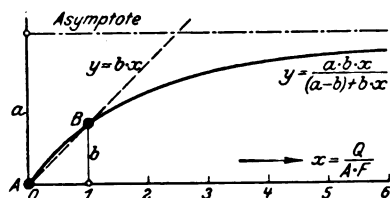


Fig. 88. Form der Interpolation der Querschnittskoeffizienten.

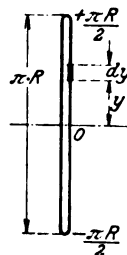


Fig. 89. Grenzform der Querschnitte für unendlich große Last.

Diese einfache Annahme ersetzt uns also die umständliche Kontrollkonstruktion für den dritten Belastungsfall (Seite 84). Die Größe der Grenzwerte bestimmt sich mit Bezug auf Fig. 89 wie folgt:

$$J_{\max} = \int_{-\frac{\pi R}{2}}^{+\frac{\pi R}{2}} 2 \cdot y^2 \cdot dy = \frac{\pi^3 \cdot R^3}{6}.$$

Da das Trägheitsmoment des Kreises:

$$J_0 = \pi \cdot R^3,$$

so ist:

$$J_{\max} = \frac{\pi^2}{6} \cdot J_0 = 1,645 J_0.$$

Mithin:

$$(\Delta J)_{\max} = 64,5 \%$$

Es ist ferner:

$$S_{\max} = \int_0^{\frac{\pi R}{2}} 2 y \, dy = \frac{\pi^2 \cdot R^2}{4}.$$

Damit ist:

$$\frac{J_{\max}}{S_{\max}} = \frac{2}{3} \pi \cdot R.$$

Für den kreisrunden Querschnitt hingegen ist (siehe Seite 72):

$$\frac{J_0}{S_0} = \frac{1}{2} \pi \cdot R.$$

Somit:

$$\frac{J_{\max}}{S_{\max}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{J_0}{S_0} = 1,333 \frac{J_0}{S_0},$$

d. h. :

$$\left(\Delta \frac{J}{S} \right)_{\max} = 33,33 \%$$

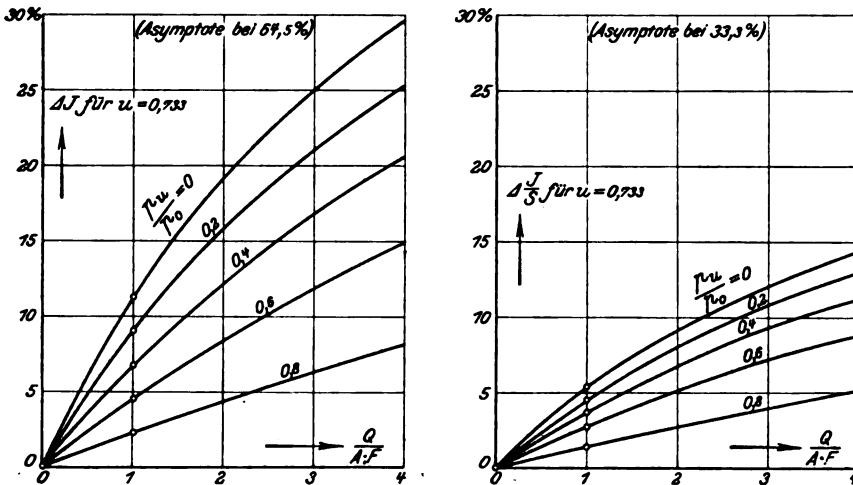


Fig. 90. Korrekturdiagramm für Biegung und Schiebung.

Mit diesen Grenzwerten sind nun aus Fig. 87 für des Umfangersverhältnis $u = 0,733$ mit Hilfe der vorgenannten Funktion die beiden Diagramme der Fig. 90 entwickelt. Sie ergeben die anzubringenden Korrektoren für verschiedene Drucke und Belastungen und sind zum direkten Gebrauch am Konstruktionstisch geeignet.

D. Beispiel der Formänderungsrechnung einer Hülle.

Das folgende Rechnungsbeispiel soll — unter stetem Hinweis auf die Ableitungen der vorangegangenen Kapitel — dem Konstrukteur in gedrängter Form eine Zusammenfassung der zur Vorausbestimmung der Hüllenformänderung notwendigen Einzelrechnungen, in der für die praktische Anwendung zweckmäßigsten Reihenfolge, bieten. An einzelnen Stellen soll es ihm dabei ein Urteil darüber ermöglichen, welche Vereinfachungen er sich im Vergleich zur Genauigkeit der ihm zu Gebote stehenden Versuchsunterlagen erlauben darf.

Mit Rücksicht auf diesen Zweck kann das Beispiel so einfach wie möglich gewählt werden, wofern es nur Gelegenheit zur Anwendung aller Einzelrechnungen bietet. Dementsprechend ist die Aufgabe folgendermaßen gestellt:

Gesucht die Hüllenformänderung eines Prallballons von 12 m ϕ und 80 m Länge (Fig. 91), der außer Hülle und Gondel keine Lasten (Ballonets, Ruder, Fesselung usw.) enthält. Die Gondel sei in zwei geraden, 40 m langen Takelungsurten DE (Fig. 92) so aufgehängt, daß sämtliche untereinander gleichen Takelungskräfte T_0 (vgl. Fig. 78) gleichmäßig über die Gurtlänge verteilt sind und sich in den beiden Punkten A und B (Fig. 92, Querschnitt), die in der Seitenansicht im Punkt C zusammenfallen, vereinigen. Das Takelungsverhältnis sei $u = 0,733$; der Auftrieb $A = 1 \text{ kg/m}^3$, der mittlere Druck $p_m = 30 \text{ mm WS}$. Das Gewicht des in Längsbahnen verarbeiteten, diagonaldoublierten Stoffes $g = 0,5 \text{ kg/m}^2$.

Als Versuchsunterlagen seien gegeben:

Die Normalcharakteristik des Stoffes F der Tabelle (Fig. 54, Seite 47) und die Schubcharakteristik des Stoffes G der Tabelle (Fig. 63, Seite 57), da von Stoff F keine solche vorliegt.

Die Berechnung zerfällt in 5 Hauptabschnitte, entsprechend Fig. 91 bis 95.

I. Die Durchmesserdehnung und Längskontraktion (Fig. 91).

1. Berechne die Normalspannungen erster Annäherung nach der rohen Formel (Seite 62):

$$\sigma_2 \cong \frac{1}{2} p_m \cdot R \quad \sigma_1 \cong p_m \cdot R. \quad (\text{a})$$

desgl. nach der genauen Formel (Seite 61 u. 62):

$$\sigma_2 = \frac{p_m \cdot R}{2 \cos \delta} \quad \sigma_1 = 2 \sigma_2 \left(1 - \frac{R}{2 \cos \delta \cdot \rho_2} \right). \quad (\text{b})$$

2. Bestimme aus der Normalcharakteristik (Fig. 54) die zu den Spannungen gehörige Durchmesserdehnung und Längskontraktion erster Annäherung, und zwar Δd aus dem Diagramm für Schuß, Δl für Kette. (a und b)
3. Berechne hiermit die Spannungen zweiter Annäherung (nur an b durchgeführt) nach den Formeln (Seite 62):

$$\sigma_1' = \sigma_1(1 + \Delta d)(1 - \Delta l) \quad \sigma_2' = \sigma_2(1 + \Delta d)^2 \quad (\text{c})$$

4. Verbessere hiernach die Durchmesserdehnung und Längskontraktion; zweite Annäherung. (c)

5. Bestimme aus Δd und Δl die neue Form der luftgefüllten Hülle (gestrichelt über der alten Form eingezeichnet).

Der Unterschied zwischen den Formänderungen der ersten und zweiten Annäherung ist gering. Es wird in den meisten Fällen die erste Annäherung und innerhalb dieser die Anwendung der rohen Spannungsformeln genügen.

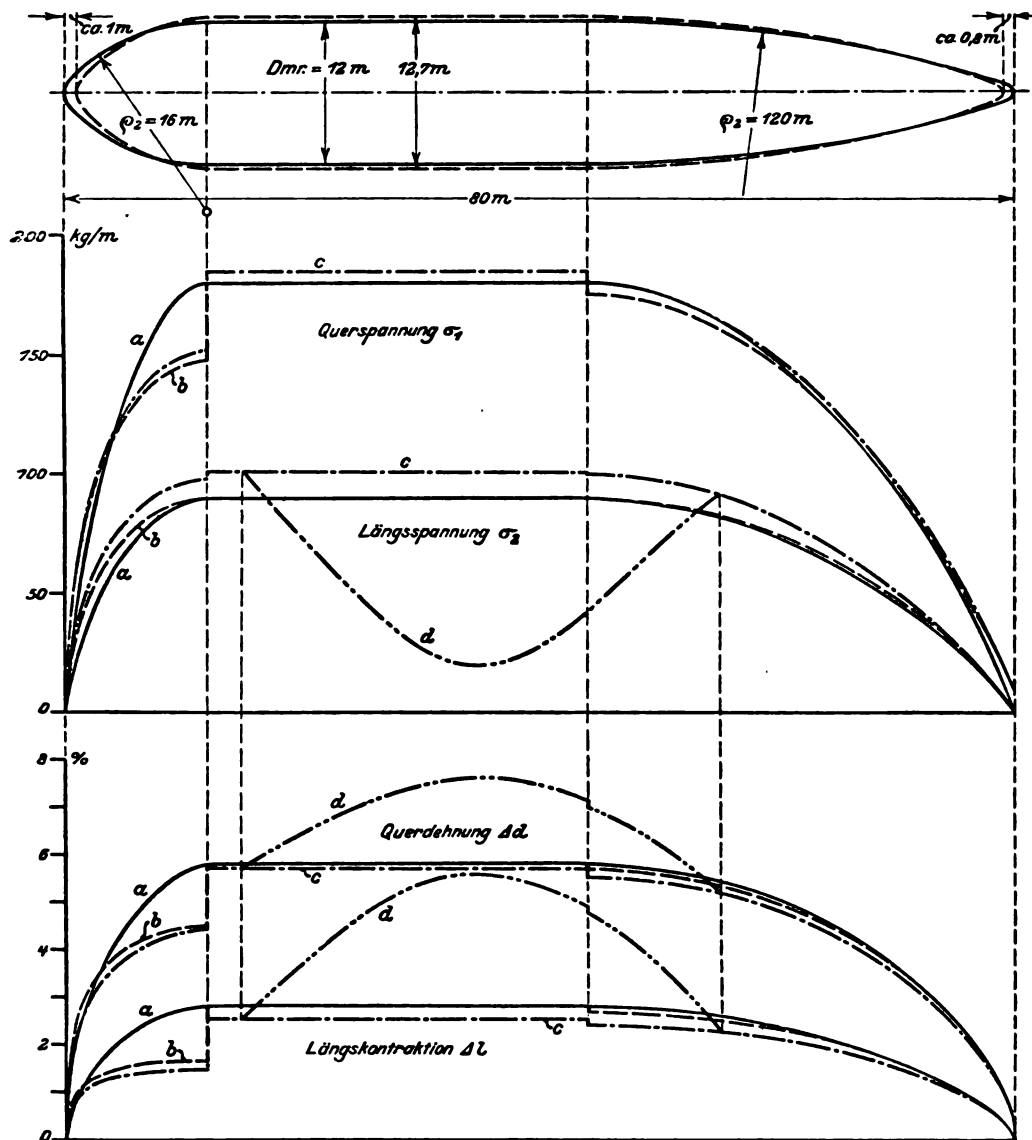


Fig. 91. Rechnungsbeispiel. Die Durchmesserdehnung und Längskontraktion.

Die genaue Formel für die Querspannung ergibt bei den unstetigen Übergängen von ρ_2 Ecken, die natürlich durch die ausgleichende Wirkung der Formänderungen selbst abgerundet werden. (Vgl. Fig. 51, Seite 43.)

II. Die biegenden Kräfte (Fig. 92).

1. Berechne das Hüllengewicht G_H in kg pro m Länge.
2. Trage über demselben den Auftrieb $A \cdot F$ ab und bestimme durch Integration der Differenzfläche das Gondelgewicht.

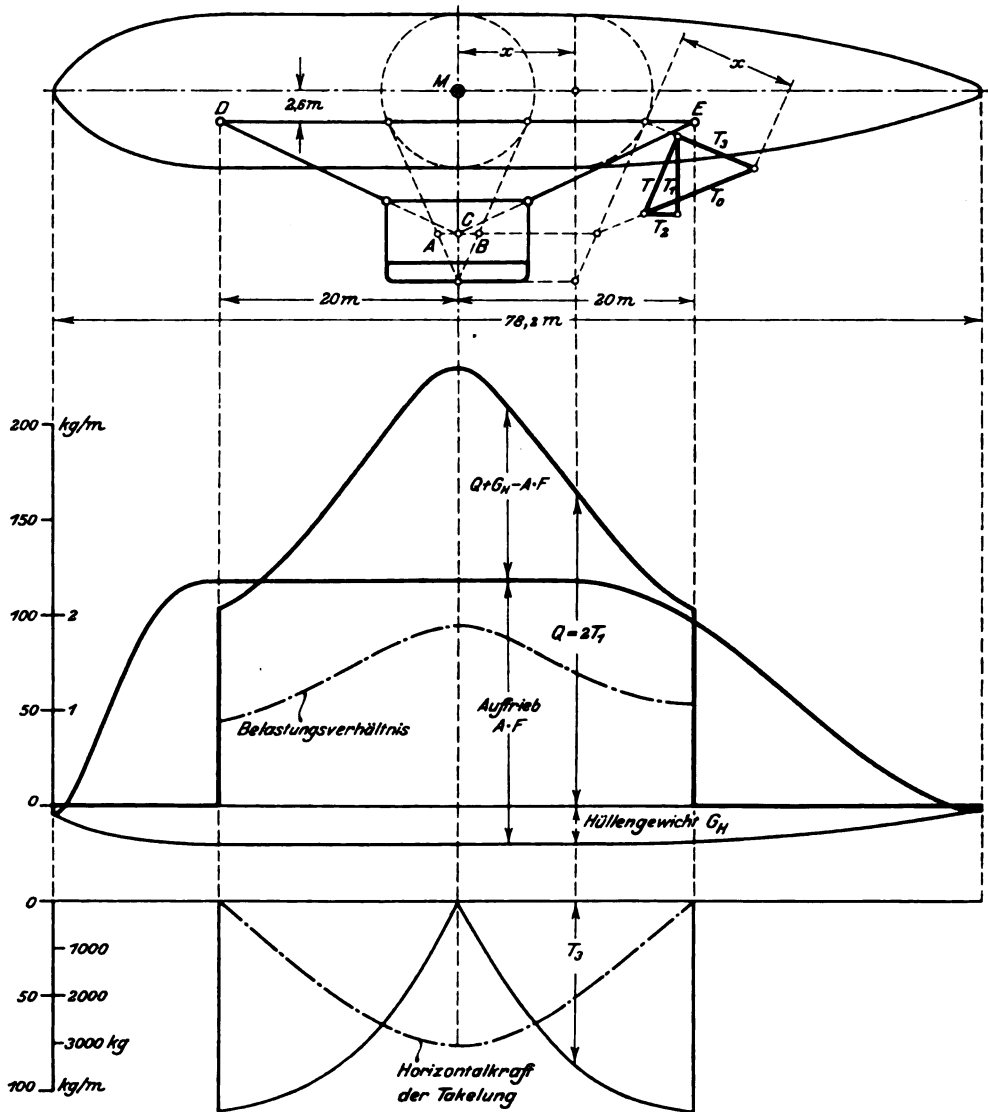


Fig. 92. Rechnungsbeispiel. Die biegenden Kräfte.

3. Bestimme für $T_0 = 1$ die Größe der Vertikal- und Horizontalcomponenten T_1 und T_3 der Takelungskräfte für alle Abstände x vom Mittelpunkt M und bilde daraus je eine Kurve (als Hilfskurven in der Figur weggelassen).
4. Trage über der Nulllinie des Hüllengewichtes die Kurve von $Q = 2 T_1$ in einem solchen Maßstabe auf, daß die Summe aller Q gleich dem vorher

ermittelten Gondelgewicht. Die (stark ausgezogene) Differenzfigur ist die Belastungskurve: $Q + G_H - A \cdot F$.

5. Bilde für die spätere Korrektur von J und $\frac{J}{S}$ das Belastungsverhältnis $\frac{Q}{A \cdot F}$ (Seite 85). Hierbei ist die Berücksichtigung des Hüllengewichtes durch Verminderung des Wertes $A \cdot F$ um $\frac{G_H}{2}$ (Seite 74) nur bei geringem Gasdruck und bei tiefer Lage der Takelungsurte erforderlich (siehe Fig. 87, Seite 85).
6. Trage die Horizontalkomponenten T_2 im richtigen Maßstabe in einer Kurve auf und bilde durch Integration derselben von den Gurtenden D und E aus die Horizontalkraft der Takelung.
7. Bestimme in Fig. 91 die Verminderung der Längsspannungen σ_2 durch die Horizontalkraft der Takelung (Seite 69, oben). (d)
8. Verbessere danach für die spätere Korrektur von J und $\frac{J}{S}$ die Durchmesserdehnung. (Die Längskontraktion ist der Vollständigkeit halber ebenfalls eingetragen.) (d)

III. Die Schubkräfte und Momente (Fig. 93).

1. Bilde durch Integration der Belastungskurve (Fig. 92) die Kurve der Schubkräfte V .
2. Bestimme durch Integration der Schubkraftkurve die Momente M_V der Vertikalkräfte.
3. Berechne das Gasdruckmoment M_G nach der Formel (Seite 67):

$$M_G = \frac{\pi}{4} \cdot R^4 \cdot A$$

4. Bestimme das Takelungsmoment M_T durch Multiplikation der Horizontal-komponenten T_3 mit dem Gurtabstand (2,6 m, Fig. 92) und Integration von den Gurtenden D und E aus (Seite 67).
5. Bilde durch Subtraktion von $(M_G + M_T)$ von M_V die resultierenden Momente M_b .

IV. Die Biegung (Fig. 94).

1. Bestimme aus der Normalcharakteristik (Fig. 54) den Elastizitätsmodul E für die aus Fig. 91 zu entnehmenden Normalspannungen (ausgeführt zum Vergleich für die Spannungen a und d). (a und d)
2. Bestimme das Trägheitsmoment für den kreisförmigen Querschnitt nach der Formel (Seite 68):

$$J = \pi R^3$$

unter Zugrundelegung der in Fig. 91 ermittelten gedehnten Radien, und bringe daran folgende Korrekturen an:

Für die verstärkende Wirkung der Nähte (angenommen 5%, siehe Seite 68). (b)

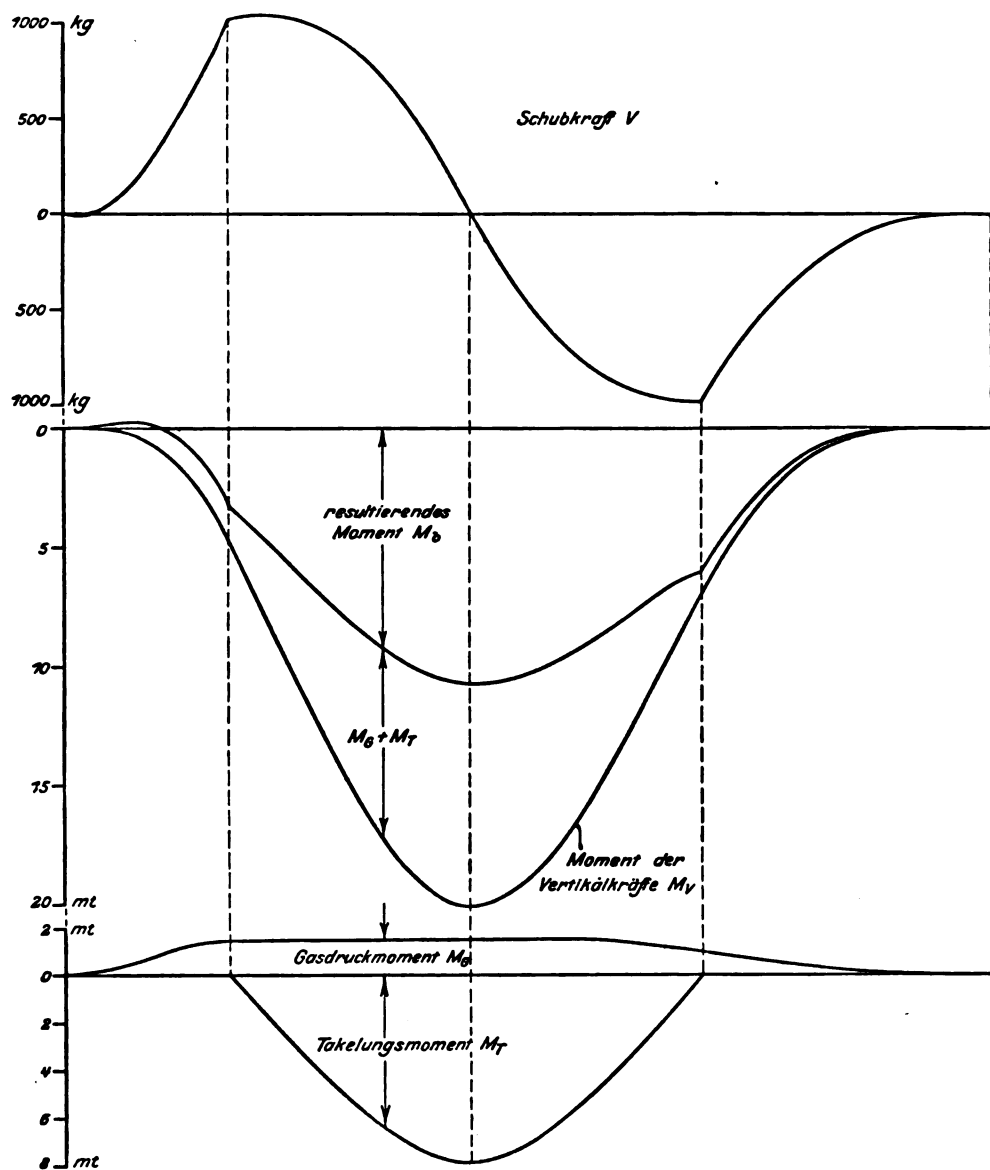


Fig. 93. Rechnungsbeispiel. Die Schubkräfte und Momente.

Für die Vergrößerung des Durchmessers infolge der Horizontalkraft der Takelung, entsprechend der Dehnungskurve d in Fig. 91. (c)

Für die Querschnittsveränderung nach dem Korrekturdiagramm der Fig. 90 (Seite 87), entsprechend dem in Fig. 92 ermittelten Belastungsverhältnis $\frac{Q}{AF}$ und dem durch den Durchmesser und $p_m = 30 \text{ mm WS}$

gegebenen Druckverhältnis $\frac{p_u}{p_o}$. (d)

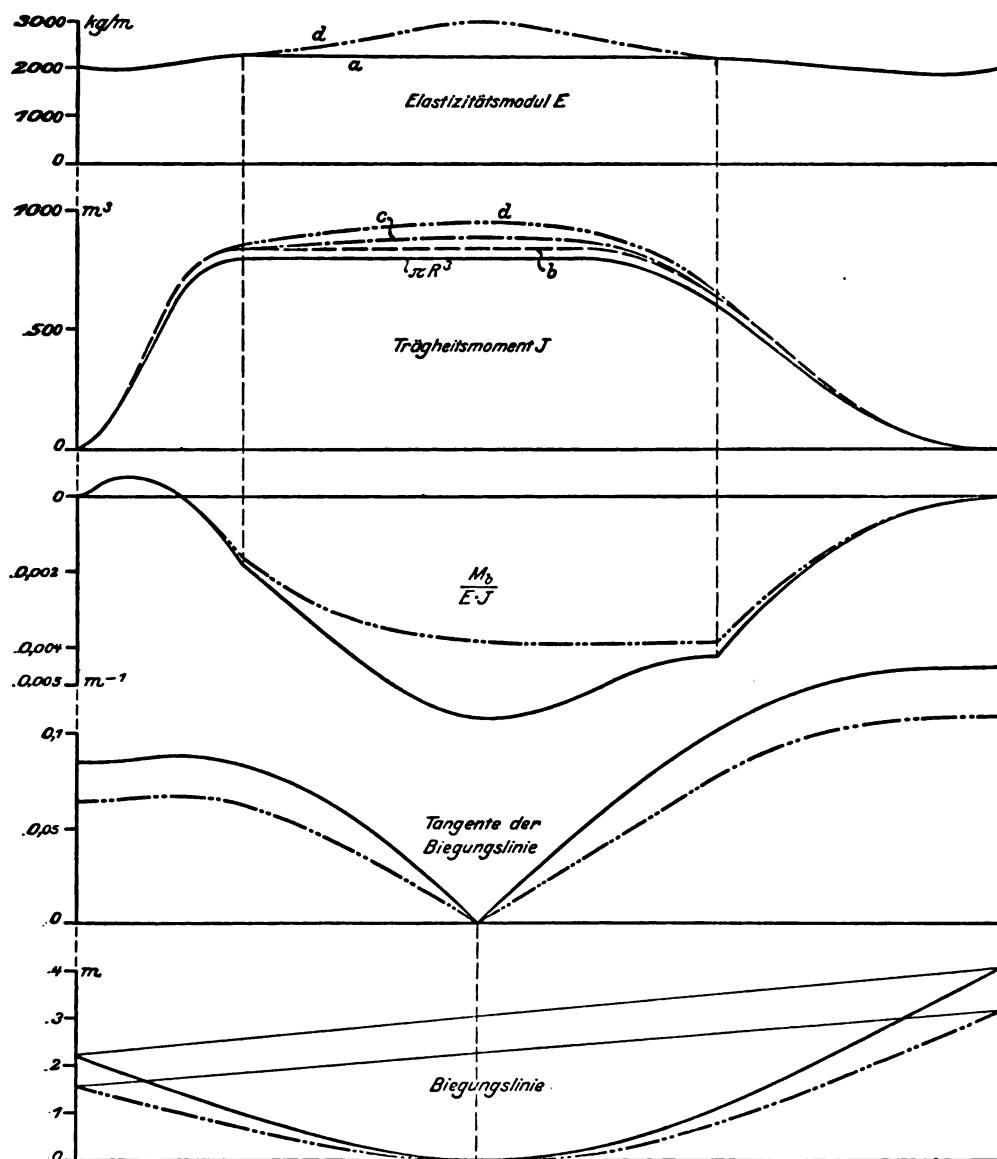


Fig. 94. Rechnungsbeispiel. Die Biegung.

3. Bilde den Quotient $\frac{M_b}{E \cdot J}$ und daraus durch zweimalige Integration zunächst die Kurve der Tangenten der Biegungslinie und dann die Biegungslinie selbst.

Die letztgenannten Einzelbestimmungen sind einmal (in ausgezogenen Linien) für die unkorrigierten Werte von E (a) und J ($\pi \cdot R^3$), das andere Mal (in strichpunktierter) für die korrigierten Werte (d) durchgeführt.

Der Vergleich zeigt, daß die Vernachlässigung sämtlicher Korrekturen für E und J zu erheblichen Abweichungen des Endresultats führen kann, wenn auch

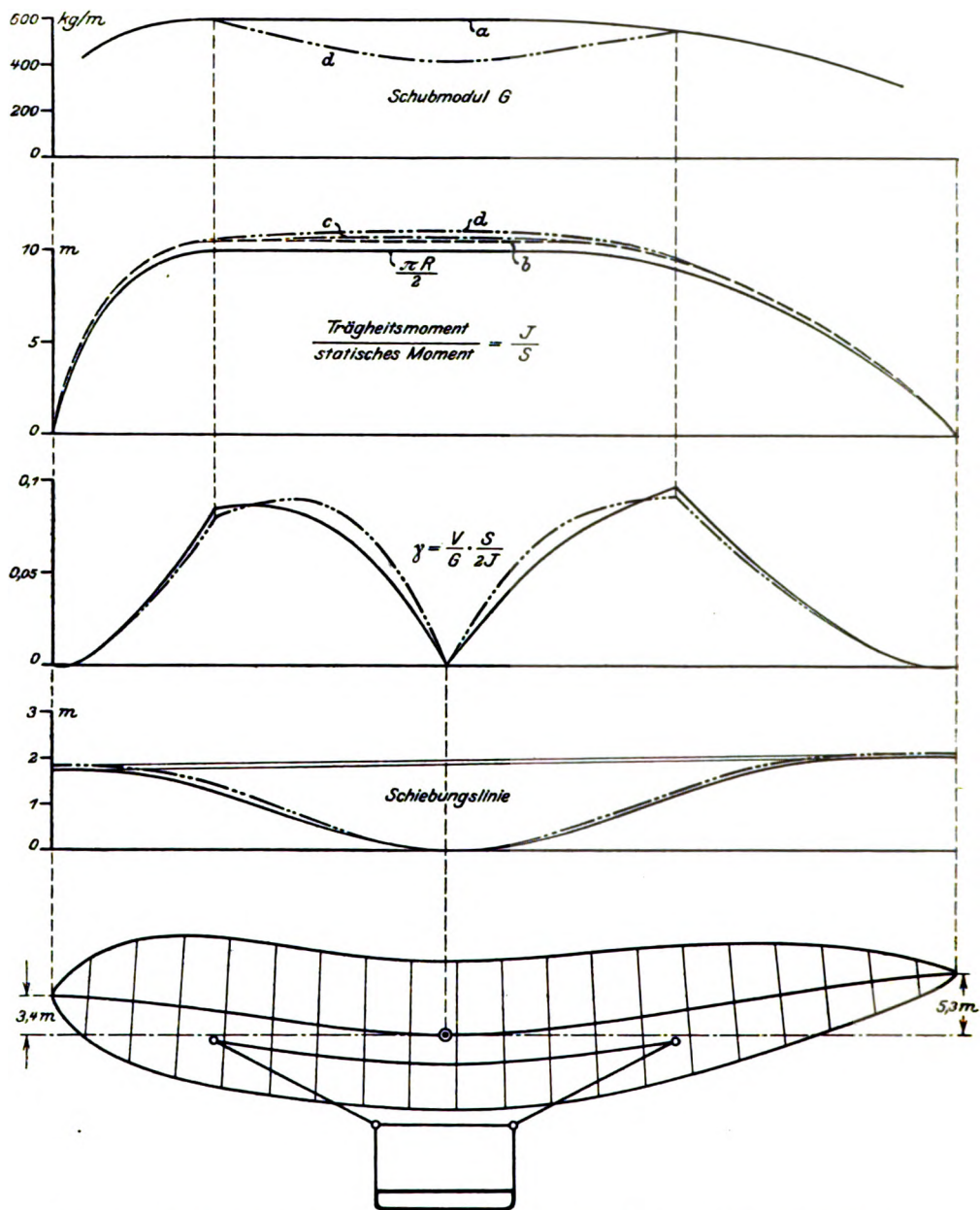


Fig. 95. Rechnungsbeispiel. Die Schiebung und die resultierende Hüllenform.

z. B. die 3 Korrekturen für J im einzelnen geringfügig erscheinen. Besonders kommt es auf die richtige Ermittlung von E an. Auch hierfür ist streng genommen noch eine, bisher nicht angedeutete Korrektur möglich, insofern als die Unterscheidung einer ersten und zweiten Annäherung, wie sie für die Normalspannungen (Seite 17 und 62) eingeführt wurde, auch für die Biegungsspannungen von Bedeutung sein kann. Doch lohnt sich eine solche Korrektur nur dann, wenn die Bestim-

mung der Normalcharakteristik selbst von Interpolationswillkür frei ist (siehe Seite 46 und 52), was bei Beobachtung des auf Seite 52 Gesagten wohl erreichbar erscheint.

V. Die Schiebung und die resultierende Hüllenform (Fig. 95).

1. Bestimme aus der Schubcharakteristik (Fig. 63) den Schubmodul G für die aus Fig. 91 zu entnehmenden Normalspannungen. (Ausgeführt zum Vergleich für die Spannungen a und d). (a und d)
2. Bestimme den Ausdruck $\frac{J}{S}$ für den kreisförmigen Querschnitt nach der Formel (Seite 72):

$$\frac{J}{S} = \frac{\pi R}{2}$$

und bringe daran entsprechend Fig. 94 die Korrekturen

für den Einfluß der Nähte (b)

für die Durchmesserergrößerung infolge der Horizontalkraft der Take-
lung (c)

und für die Querschnittsveränderung an. (d)

3. Bilde den Wert: (Seite 72)

$$\gamma = \frac{V}{G} \cdot \frac{S}{2J}$$

und daraus durch einmalige Integration die Schiebungslinie.

Auch hier sind die letzten Einzelbestimmungen für unkorrigierte und korrigierte Werte durchgeführt. Die Verschiedenheit der Resultate ist bedeutend geringer, weil die Einflüsse der Korrekturen von G und $\frac{J}{S}$ mit entgegengesetztem Vorzeichen auftreten. Im übrigen gilt auch für G sinngemäß das oben für E Gesagte.

4. Addiere Biegung und Schiebung (nur für die korrigierten Werte d durchgeführt).
5. Trage aus der Fig. 94 (Tangente der Biegungslinie) den Winkel der Querschnitte gegenüber der vertikalen Richtung ein.
6. Trage von der elastischen Linie aus in Richtung der Querschnitte nach beiden Seiten die Radien aus Fig. 91 ab und bestimme durch Verbindung der so erhaltenen höchsten und tiefsten Punkte die Seitenansicht der resultierenden Hüllenform.

E. Studien an einem besonders einfach belasteten Modell.

An dem zur Beobachtung der Querschnitte (Seite 63) verwendeten Modell wurden einige Messungen vorgenommen, die unter anderem eine Vorstellung darüber ermöglichen, bis zu welchem Grade die auf Grund der Normal- und Schubcharakteristik vorausberechneten Formänderungen den tatsächlich eintretenden nahekommen.

Beschreibung des Modells und seiner Belastung.

Das Modell hatte eine Länge von 1,5 m und bestand aus einem zylindrischen Hauptstück von 200 mm ϕ mit einem halbkugeligen Kopf und einem sich sanft verjüngenden Ende. Es wurde aus 6 untereinander gleichen Bahnen I–VI des Stoffes G der Tabelle mit je 9 mm Überlappung zusammengenäht, an den Enden mit Schlauchansätzen und auf beiden Seiten über den größten Teil der Länge mit je einer durchgehenden Reihe von tangential angesetzten Doppelschlaufen zur Aufhängung versehen (Fig. 96 und 97).

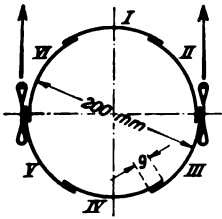


Fig. 96. Querschnitt des Ballonmodells.

Die Oberfläche erhielt ein rechtwinkeliges Netz von Meßlinien: 12 Meridianlinien wurden schon beim Zuschneiden der Bahnen, 17 Querschnittlinien (Spanten) dagegen am fertigen, mit Druckluft gefülltem Modell aufgetragen, indem dies, in den beider Schlauchansätzen gelagert, wie in einer Drehbank an einem feststehenden Bleistift vorbeigedreht wurde.

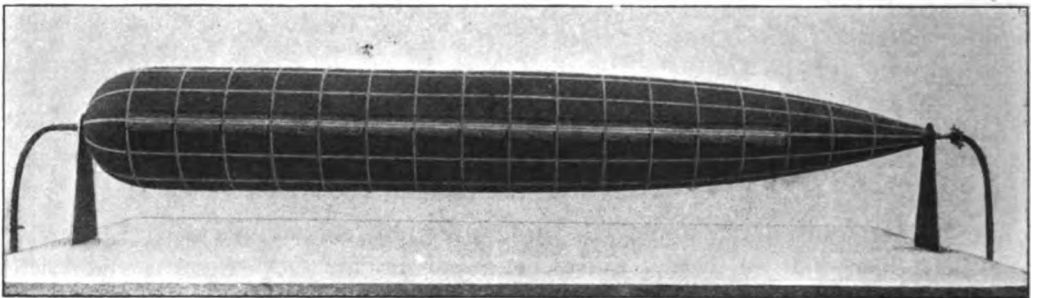


Fig. 97. Ballonmodell, mit Luft gefüllt, drehbar gelagert.

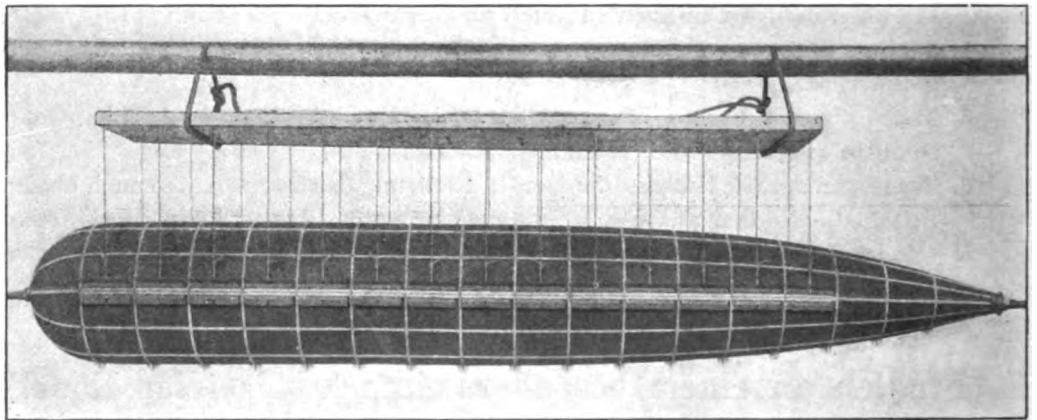


Fig. 98. Ballonmodell, mit Wasser gefüllt, biegungslos aufgehängt.

Das Modell wurde zunächst durch Luft-, nächst dem durch Wasserfüllung einem konstanten Innendruck p_m von 3000 mm WS unterworfen. Dabei wurden in einem ersten Zeitraum auch bei der Wasserfüllung nennenswerte Biegungs-

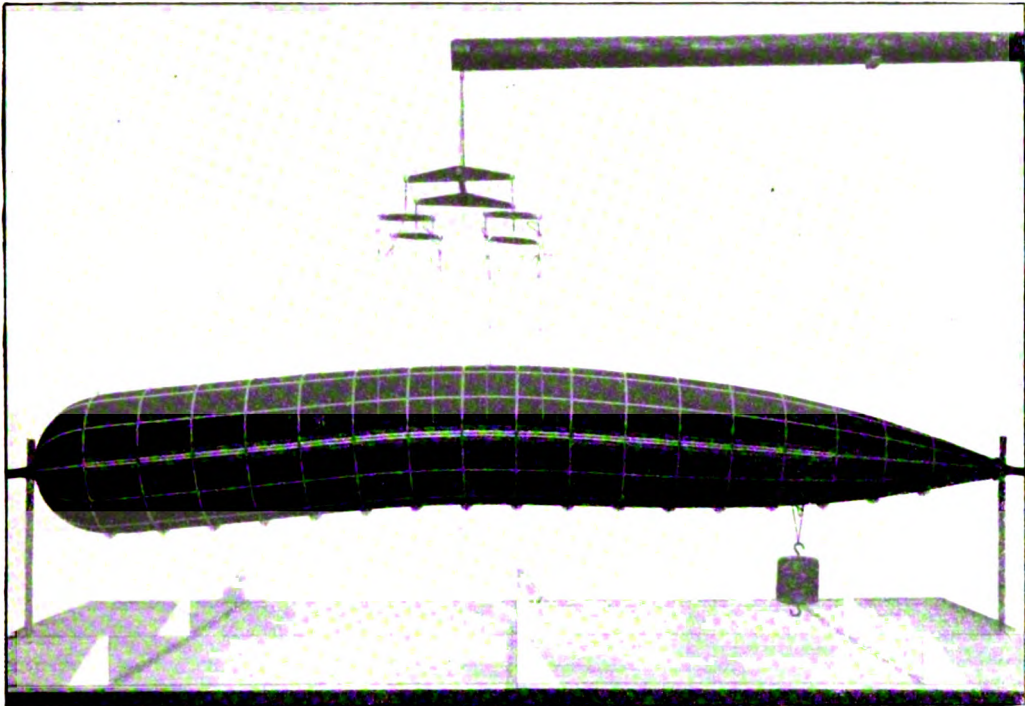


Fig. 99. Ballonmodell, gebogen nach 24 Stunden.

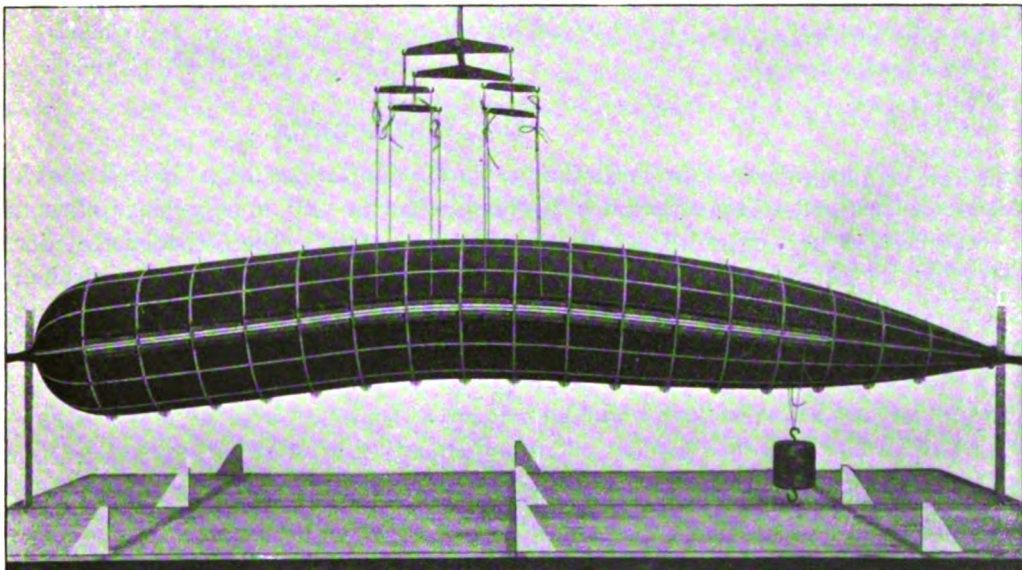


Fig. 100. Ballonmodell, gebogen nach 3 Wochen.

und Schubkräfte dadurch fern gehalten, daß die Aufhängung mittels sämtlicher Schlaufen erfolgte (Fig. 98, halbstarre Ballontype), während bei der Luftfüllung das im Vergleich zum Inhalt sehr geringe Eigengewicht des in zwei Enden gelagerten

Modells praktisch bedeutungslos ist. Es wurde also der auf Seite 59 erörterte Zustand der luftgefüllten Hülle hergestellt. In einem zweiten Zeitraum wurden durch Beschränkung der Aufhängung auf die 4 mittelsten Schlaufen jeder Seite Biegungs- und Schubkräfte erzeugt, wodurch der Zustand der gasgefüllten Hülle nachgeahmt ist. Hierbei wurde eine gleichmäßige Verteilung der Aufhängungskräfte auf die 8 Mittel-schlaufen durch ein System von gleicharmigen Wagebalken (Fig. 99 und 100) erzielt. Dem Ausgleich des Übergewichtes der Vorderhälfte diente ein Gegengewicht von 2,5 kg an der letzten Schlaufe.

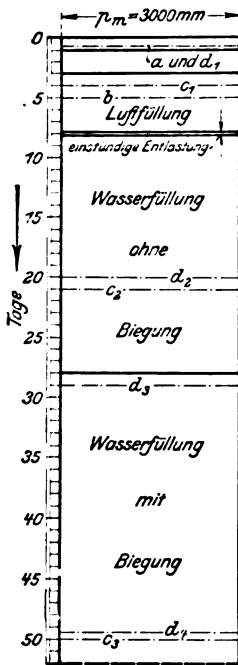


Fig. 101. Belastungsschema des Modells.

- a) Aufzeichnung der Spanten.
- b) Messung der Verdrehung.
- c) Messung der Durchmesserdehnung und Längskontraktion.
- d) fotogr. Aufnahmen.

Die Dauer der einzelnen Belastungsarten und die während derselben angestellten Messungen sind aus dem Schema der Fig. 101 zu ersehen.

Die Dauer der einzelnen Belastungsarten und die während derselben angestellten Messungen sind aus dem Schema der Fig. 101 zu ersehen.

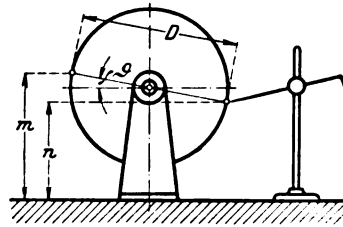


Fig. 102. Messung der Verdrehung des Modells.

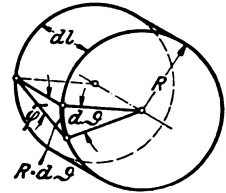


Fig. 103. Zusammenhang zwischen Verdrehungs- und Schiebungswinkel.

Die Verdrehung.

Die Verdrehung wurde am luftgefüllten Modell durch Abmessung der Meridianhöhen m und n über einer ebenen Grundfläche bestimmt (Fig. 102). Die Mittelwerte der Messungen für 3 um je 120° versetzte Bahnpaare ergaben die in Fig. 104 dargestellten Verdrehungswinkel ϑ (gerechnet vom Spant ϑ als Nullpunkt) gemäß der Beziehung:

$$\sin \vartheta = \frac{m - n}{D}.$$

Der Schiebungswinkel φ ergibt sich daraus nach Fig. 103 durch die Gleichung:

$$\varphi = d\vartheta \cdot \frac{R}{dl}.$$

Der Schiebungswinkel φ beträgt beim vorliegenden Stoff nur wenig mehr als 1° (vgl. auch die Fig. 35 und 38 bei $\gamma = 45^\circ$). Trotzdem sind die Verdrehungen ϑ , die er erzeugt (in unserem Falle insgesamt ca. 11°), schon so bedeutend, daß

sie bei langen Schiffen mit mehreren Gondeln recht störende Nebenerscheinungen hervorrufen und in der Regel auch schon bei kurzen eine Versetzung der Ruder und Richtflossen nötig machen.

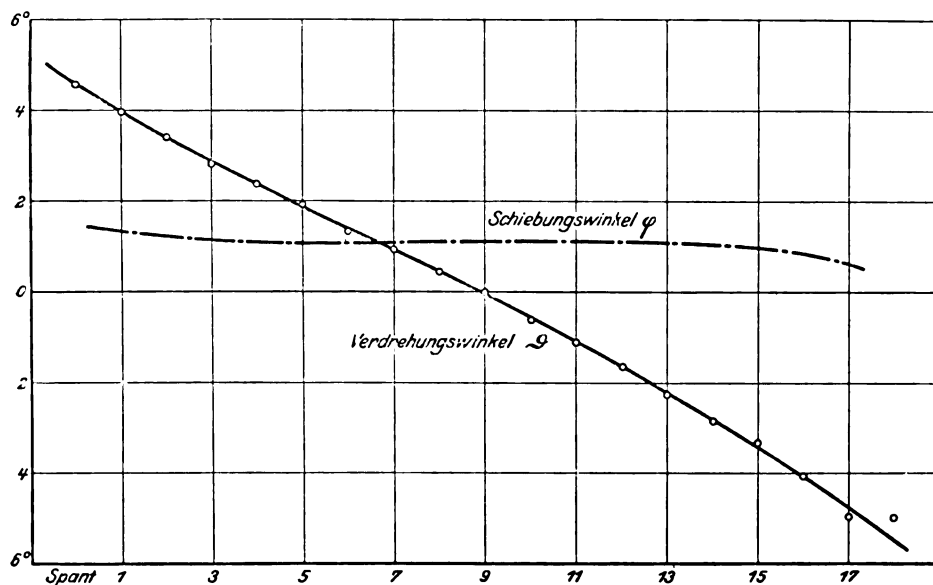


Fig. 104. Verdrehung des Modells.

Die Durchmesserdehnung und Längskontraktion.

Die Durchmesserdehnung und Längskontraktion wurde zweimal am biegungsfreien, einmal am gebogenen Modell durch Abmessung der Meridian- und Spantabstände bestimmt. Die in Fig. 105 dargestellten Werte sind die Mittel aus den Versuchswerten von 3 bzw. 4 Bahnen.

Sie lassen zunächst wieder erkennen, daß die Formänderungen Zeit zu ihrer Ausbildung brauchen. Die Längskontraktion der zweiten Messung ist in der Figur der Deutlichkeit wegen fortgelassen, da sie der dritten schon sehr nahe kam.

Des weiteren zeigt sich innerhalb des zylindrischen Hüllenteiles ein beträchtliches Schwanken der Formänderungsgröße. Da es bei allen drei Messungen in gleicher Weise wiederkehrt, so erscheint es in der Ungleichförmigkeit des Stoffes begründet. Daraus folgt, daß zur Bestimmung der Normalcharakteristik die Vielkreuzmethode am zweckmäßigsten ist, und daß sie um so bessere Resultate ergeben wird, je größer die Zahl ihrer Einzelpunkte ist. In Fig. 105 ist die auf Grund der Normalcharakteristik (Fig. 58, Seite 51) vorausbestimmte Durchmesserdehnung und Längskontraktion in zweiter Annäherung (siehe Seite 62) strichpunktiert eingetragen.

In Fig. 106 sind die Längskontraktionen der 4 Bahnen I, II, III und IV für die Messung c_3 am gebogenen Modell im Zusammenhang mit ihrem Mittelwert dargestellt. Das Bild veranschaulicht den Vorgang der Biegung; es zeigt, wie die im ganzen eingetretene Längskontraktion auf der gedrückten Seite erhöht, auf der gezogenen erniedrigt, ja sogar in eine Längsdehnung (schraffiert) verwandelt wird.

Damit läßt es den Umfang der Formänderung für jeden Querschnitt erkennen, der für die passende Wahl des Elastizitätsmoduls E aus der Normalcharakteristik von Bedeutung ist.

Der Übergang der Längskontraktion in eine beträchtliche Längsdehnung am Kopf des Modells rührt daher, daß bei der geringen Anzahl von 6 Längsbahnen

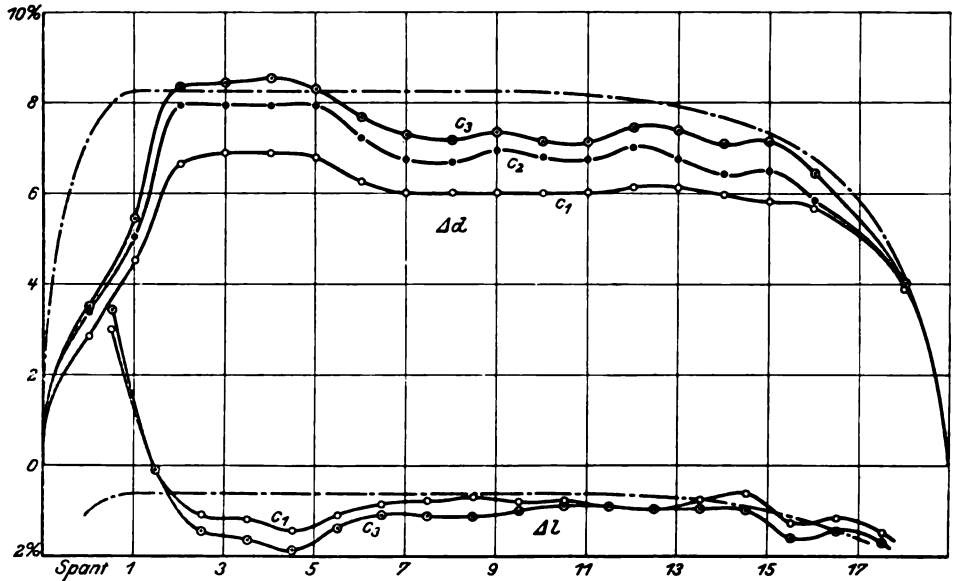


Fig. 105. Durchmesserdehnung und Längskontraktion des Modells nach verschiedener Belastungsdauer. Die Buchstaben entsprechen dem Schema Fig. 101.

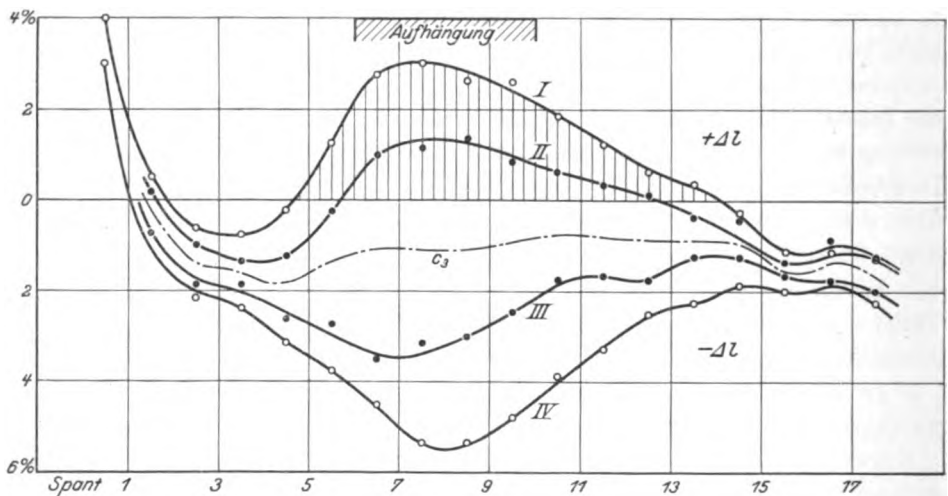


Fig. 106. Längskontraktion der einzelnen Bahnen des Modells als Folge der Biegung. In der Mitte der Mittelwert aus Fig. 105.

nur eine unvollkommene Halbkugel, viel eher eine sechseckige Spitze entsteht, bei der die Mittellinien der Bahnen, auf denen die Längskontraktion gemessen wurde, von vornherein im Vergleich zu den Nahtstellen zu kurz sind und daher höhere

Längsspannungen erfahren. Da die Zahl der Bahnen bei Ballonhüllen 30, 40, und mehr beträgt, so kommt der geschilderte Nebenumstand für sie nicht in Betracht.

Die Biegungs- und Schiebungslinie.

Die Form des Modells nach dreiwöchentlicher Biegungsbelastung wurde nicht am Modell selbst, sondern aus den photographischen Aufnahmen (Fig. 68 und 69), die schon zur Beobachtung der Querschnitte hinsichtlich der Navierschen Hypothese dienten (Seite 63), abgemessen. In Fig. 107 sind die Konturen beider Aufnahmen, nach den für Fig. 71 (Seite 65) verwendeten Vergrößerungen durchgepaust, wiedergegeben. Die Halbierung ihrer Querschnittshöhen ergibt mit Annäherung die elastische Linie des Modells. Ihr Verlauf stellt die resultierende Formänderung dar. Er stimmt in beiden Aufnahmen überein.

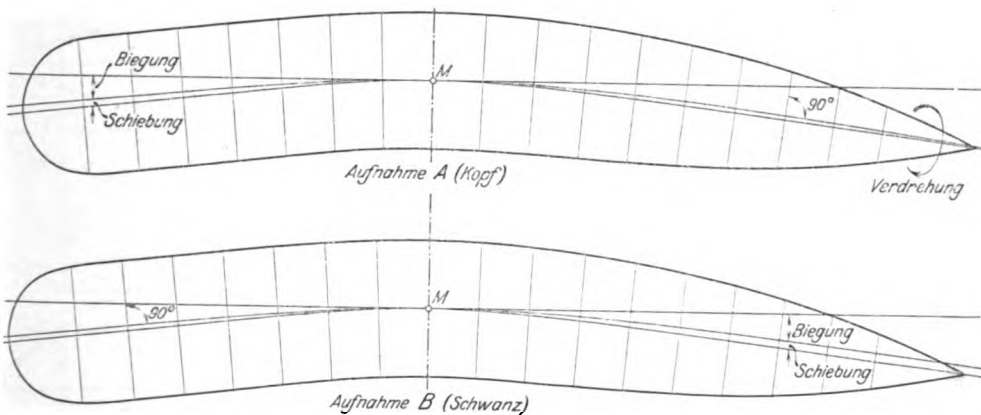


Fig. 107. Bestimmung der Biegung und Schiebung des Modells aus den Photographien der Fig. 68 und 69.

Durch die aufgeklebten Papierflossen am Bauch und Rücken ist ferner die Lage der Querschnitte bestimmt. Legt man nun, von M ausgehend, nach beiden Seiten eine Kurve, die alle Querschnittslinien senkrecht schneidet, so erhält man die Trennlinie zwischen reiner Biegung und Schiebung.

Die Lage dieser Trennlinie ist nun bei beiden Aufnahmen verschieden. Der Grund liegt zum Teil in kleinen Ungenauigkeiten der Parallelität beider Aufnahmestellungen, hauptsächlich aber in der Verdrehung des Modells: da die Papierflossen genau auf die obere und untere Meridianlinie geklebt waren, machten sie die Verdrehung mit und traten damit aus der in Fig. 70 (Grundriß) angegebenen Objektebene heraus, wodurch eine scheinbare Winkeländerung der Querschnitte eintrat. Die Erscheinung ist bei der Aufnahme A am Schwanz des Modells besonders deutlich, insofern, als die Trennlinie, die sich zunächst von der Mittellinie entfernt, ihr gegen das Ende hin wieder zustrebt.

Es ist einleuchtend, daß für die vordere Hälfte des Modells die Kopfaufnahme, für die hintere dagegen die Schwanzaufnahme wegen der geringeren Entfernung vom Bildmittelpunkt eine größere Annäherung darstellt. Da jedoch der Absolutwert der Schiebung im vorliegenden Falle gering und seine Bestimmung durch

die auf die Querschnitte gefällten Lote zeichnerisch nicht genau genug ist, um sichere Folgerungen daran zu knüpfen, so sollen dem Vergleich mit der nachfolgenden Rechnung die algebraischen Mittelwerte aus beiden Aufnahmen zugrunde gelegt werden.

Vergleichende Berechnung.

Die Berechnung der Form der elastischen Linie ist in Fig. 108, 109 und 110 durchgeführt. Sie weist gegenüber dem Rechnungsbeispiel (Seite 88) drei Vereinfachungen auf:

1. Das Hüllengewicht konnte vernachlässigt werden, da es nur ca. 1,2% des Wassergewichtes beträgt.

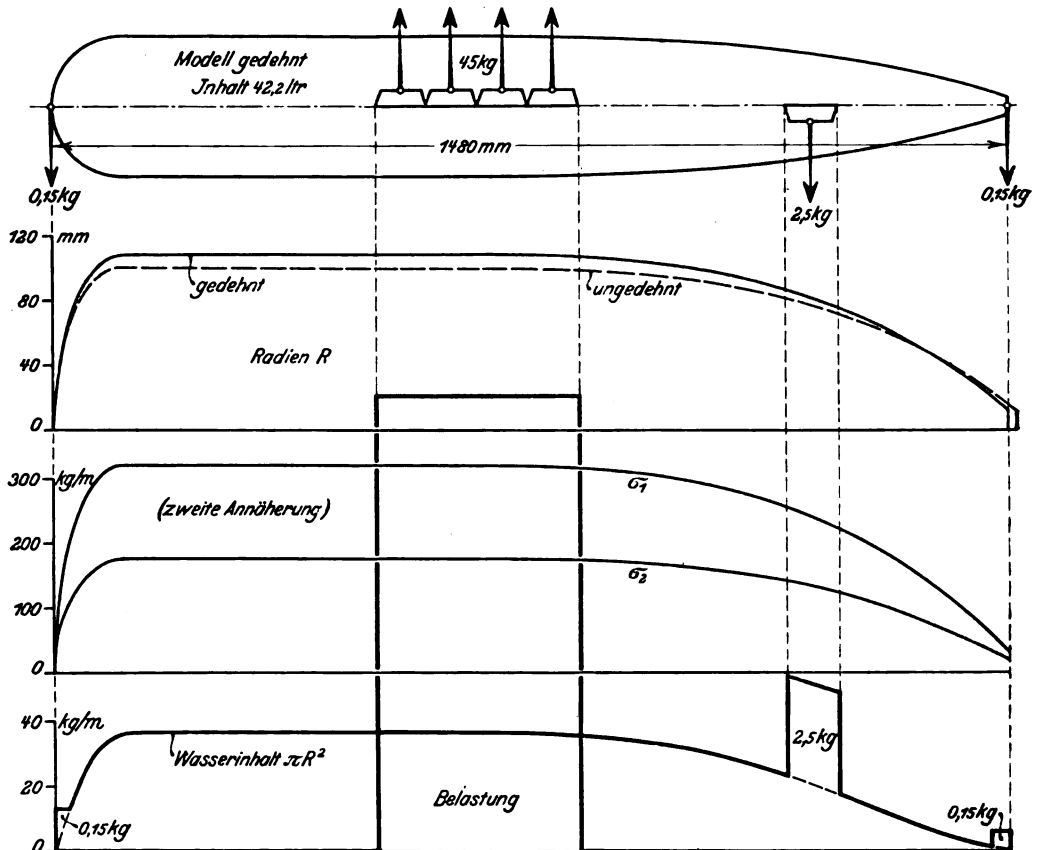


Fig. 108. Formänderungsrechnung des Modells. Die Belastung.

2. Bei der Aufhängung wirken nur vertikale Kräfte. Das Takelungsmoment sowie die axiale Entlastung fallen also fort.

3. Das Umfangsverhältnis der Takelung $u = 0$, und das Druckverhältnis $\frac{P_u}{P_o} = 0,935 = \text{nahezu } 1$. Es fällt also die Korrektur der Werte J und $\frac{J}{S}$ fort (siehe Fig. 87).

Die Verstärkung durch die Nähte ergibt eine Korrektur von $\frac{6 \cdot 9}{\pi \cdot 200} = \text{rund } 10\%$.

Hiernach sind die Figuren 108 bis 110 ohne weiteres verständlich. Als Versuchsunterlagen dienten die Normalcharakteristik Fig. 58 (Seite 51) und die Schubcharakteristik Fig. 63 (Seite 57).

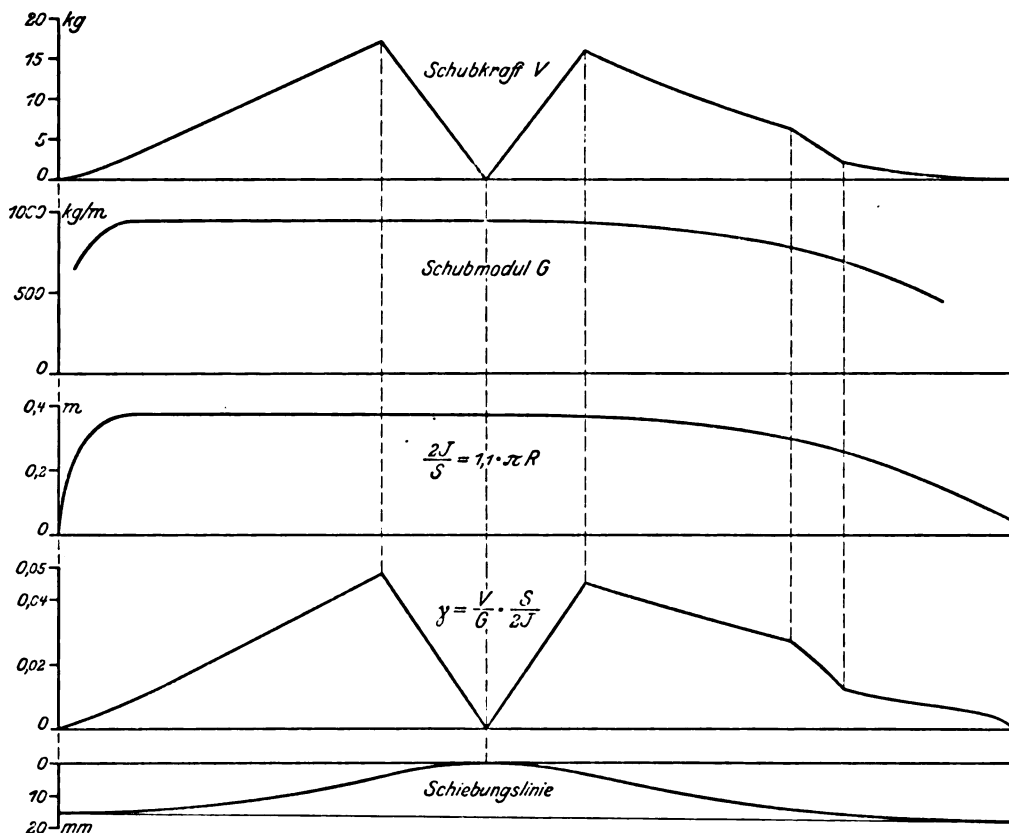


Fig. 109. Formänderungsrechnung des Modells. Die Schiebung.

In das Schlußbild der Fig. 110 sind die aus den beiden Photographien (Fig. 107) entnommenen Mittelwerte der Biegung und Schiebung zum Vergleich eingetragen.

Rechnung und Messung ergeben gleichartige Kurvenform. Hinsichtlich der absoluten Größe stehen die gemessenen Werte um ca. 15% gegenüber den berechneten zurück. Zu dieser Abweichung trägt die reine Biegung nur den geringeren Teil bei. Sie zeigt eine Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung bis auf rund 7%.

Die gemessene Schiebung hingegen ist 30—35% geringer als die berechnete. Diese Abweichung darf nicht überraschen. Sie ist hauptsächlich darin begründet, daß die der Rechnung zugrunde gelegte Schubcharakteristik (Fig. 63) den Mittelkurven der Hysteresisschleifen (Fig. 61) entspricht, denen gegenüber die gemessene Formänderung, die durch keine Vorbelastung beeinflusst war, um den Betrag der inneren Reibung zurückbleiben mußte (vgl. Fig. 20, Seite 14). Vergleicht man in

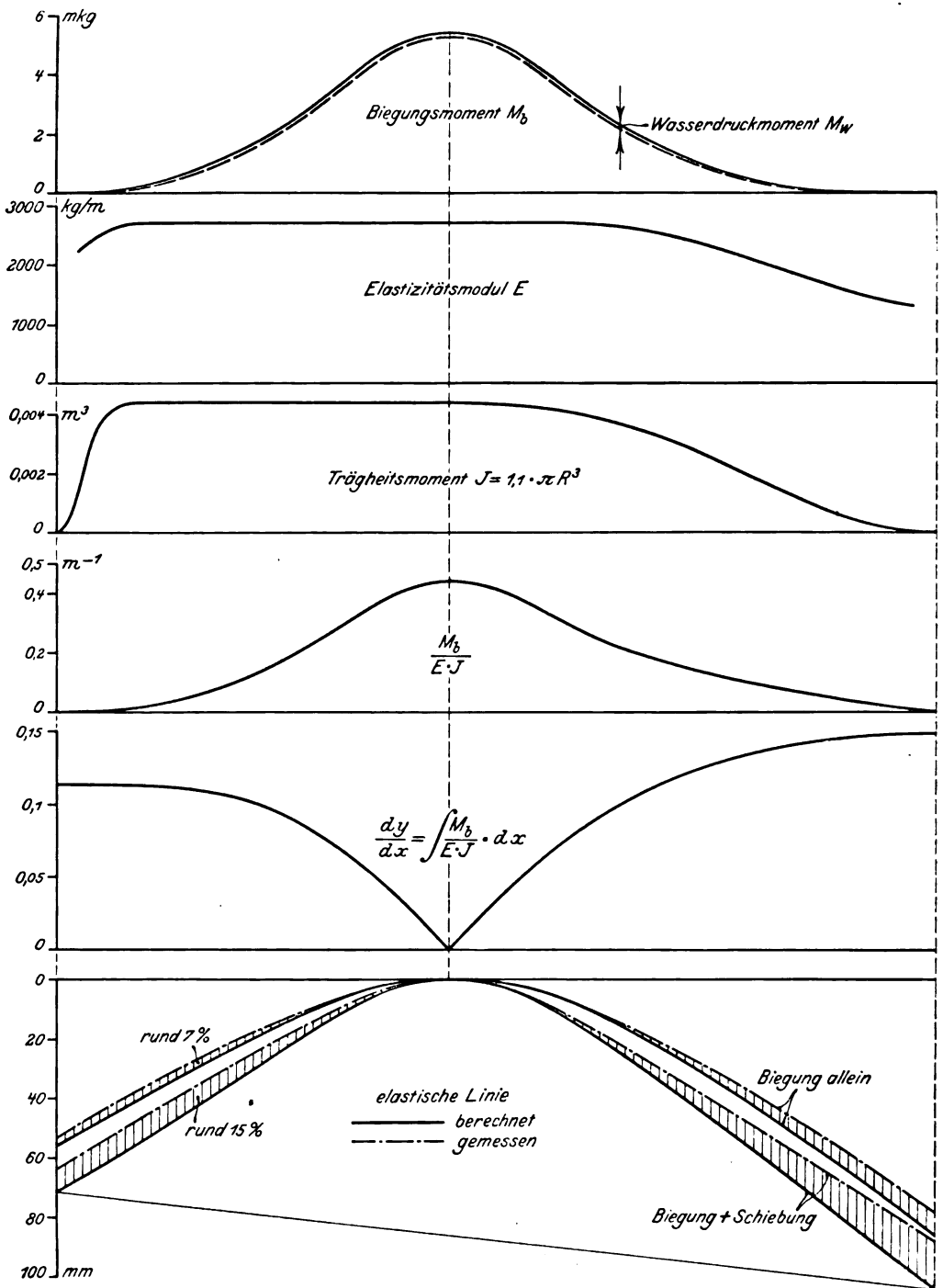


Fig. 110. Formänderungsrechnung des Modells.
Die Biegung und die resultierende Form der elastischen Linie.

Fig. 61 den Schubmodul für die Mittelkurven mit dem für die jungfräulichen Kurven, so kommt man durchweg auf Unterschiede von 30—40%.

Wenn auch hiermit eine hinreichende Erklärung für die Abweichung der Messung von der Rechnung gegeben ist, so wäre immerhin eine Prüfung durch weitere, besonders der Schiebung gewidmete Versuche erwünscht.

Bezüglich der Biegung hingegen erscheint die Rechnung schon durch den vorliegenden Versuch in vollem Umfange bestätigt.

Zusammenfassung.

Die Formänderungseigenschaften des Ballonstoffes werden aus seinem Gefüge hergeleitet und an einer Reihe von Versuchen geschildert.

Es wird geprüft, welche Versuchsunterlagen für die Vorausbestimmung der Formänderung von Ballonhüllen notwendig und ausreichend sind; geeignete Versuchsmethoden werden beschrieben.

Die Bestimmung der Formänderung von Ballonhüllen wird in 3 Einzelberechnungen aufgelöst, die der Reihe nach der Durchmesserdehnung und Längskontraktion, der Biegung und der Schiebung gelten. Die Abweichung der Querschnitte von der Kreisform wird ermittelt und ein einfacher Weg für ihre Berücksichtigung bei der Biegungs- und Schiebungsrechnung angegeben.

Dem Konstrukteur wird ein zusammenfassendes Rechnungsbeispiel unter stetem Hinweis auf die vorangegangenen Ableitungen vorgelegt.

An einem einfachen Modell werden die Einzelformänderungen gemessen und mit den vorausberechneten verglichen.

Stoff-Tabelle.

	Stoffart	Mittlere Festigkeit in kg/m ca.	Gewicht pro qm in g ca.	Besondere Merkmale
A	Einfacher Stoff	630	85	Ungummiert und ungefärbt. Sogenannter Rohstoff.
B	Derselbe	680	195	Auf einer Seite gummiert, auf der anderen gelb gefärbt. (Für äußere Klebestreifen.)
C	Einfacher Stoff	420	75	Einseitig gummiert, ungefärbt. Sogenannter Aeroplanstoff.
D	Einfacher Stoff	770	225	Zweiseitig gummiert, ungefärbt. Sogenannter Bandstoff. (Für innere Klebestreifen.)
E	Doppelter Parallelstoff	2600	425	Eine starke Gummilage in der Mitte. Außen und innen ungummiert und ungefärbt.
F	Doppelter Diagonalstoff	1400	390	Äußere Lage unter ca. 45 ° diagonal. Innenseite gummiert und ungefärbt. Außenseite ungummiert, gelb gefärbt.
G	Dreifacher Stoff	2200	520	Mittlere Lage unter ca. 45 ° diagonal. Innenseite gummiert und ungefärbt. Außenseite ungummiert, gelb gefärbt.

Formänderung der Hülle des Siemens- Schuckert-Luftschiffs

(Feststellungen am Original und Versuche am Modell)

Von

Alexander Dietzius

Dipl. Schiffbau-Ingenieur,

Privatdozent für Luftschiffbau an der Kgl. Techn. Hochschule zu Berlin

Die für die Herstellung der Hüllen von Prallballonen erforderlichen Konstruktionszeichnungen zeigen den äußeren Ballonkörper immer als Rotationskörper, dessen Querschnitte normal zur Achse desselben, also Kreise sind. Dieser Form entsprechend werden nicht nur die Schablonen für die Längs- oder Querbahnen, aus denen die Hülle zusammengefügt wird, gezeichnet und aus Papier ausgeschnitten, sondern auch die Volumenbestimmung stützt sich auf diese einfache geometrische Form.

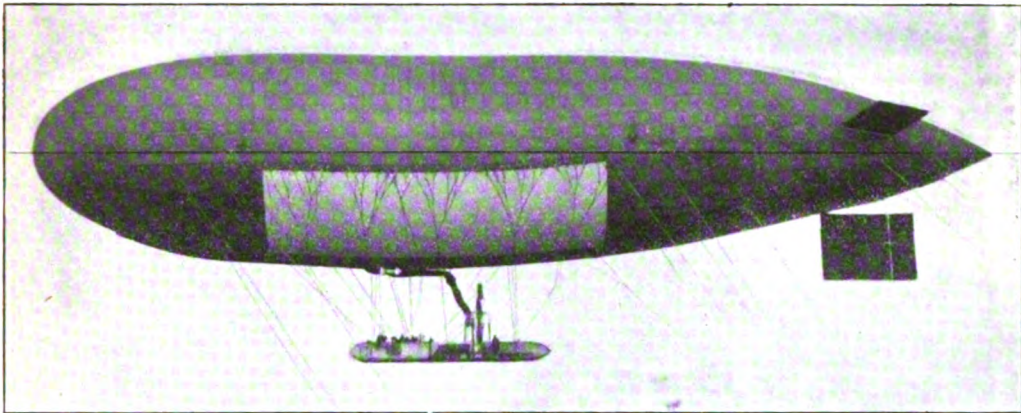


Fig. 1. Luftschiff der Luftfahrzeugbau-Gesellschaft Bitterfeld. P. VI.

Auch alle Veröffentlichungen von Konstruktionsplänen von Prallballonen zeigen den Ballonkörper als Rotationskörper. Wie wenig jedoch nachträglich, also in gasgefülltem Zustande und fertig montiert, die Ballonhülle dem der Zeichnung zugrunde gelegten Rotationskörper entspricht, zeigen unter anderem einmal das Bild des P. VI, Fig. 1, und der Längsschnitt des Siemens-Schuckert-Motor-Ballons, welcher etwa 3 Monate nach der ersten Füllung durch Messung aufgenommen wurde. (Fig. 4.)

Die Veränderung des gedachten Kreisquerschnittes zu einem Querschnitt von birnenförmiger Gestalt ist in Natur weniger auffällig. Sie beruht zu einem Teil auf dem Anwachsen des Innendruckes mit zunehmender Höhe im Ballon durch die Füllung mit einem spezifisch leichteren Gase, für gewöhnlich Wasserstoff, und sie wird umso geringer, je größer der durch die Ballonventilatoren oder auf andere Weise erzeugte zusätzliche Innendruck ist.

Umsomehr fällt hingegen die Veränderung des Längsprofiles auf, vor allem in der Kontur des Rückens.

Diese Formänderung ist nicht nur ein Schönheitsfehler, der insbesondere beim Vergleich der Prall-Luftschiffe mit den starren Luftschiffen Zeppelinscher Bauart

unangenehm berührt, sondern auch ein Konstruktionsfehler, der sicherlich nicht dazu beitragen wird, die Eigengeschwindigkeit solcher Schiffe zu erhöhen.

Bei einem großen Streckungsverhältnis, wie es z. B. der Siemens-Schuckert-Ballon besitzt ($L : D = 9$) und bei einem langen zylindrischen Mittelteil werden die Durchbiegungen noch viel deutlicher wahrnehmbar sein.

Bei den Parseval-Ballonen und noch weit mehr bei den Prall-Ballonen mit langem Versteifungsträger, z. B. den französischen Schiffen der Bauart Clément Bayard (Fig. 2), läßt sich vermittels der hier vorhandenen Seiltakelung eine nach-

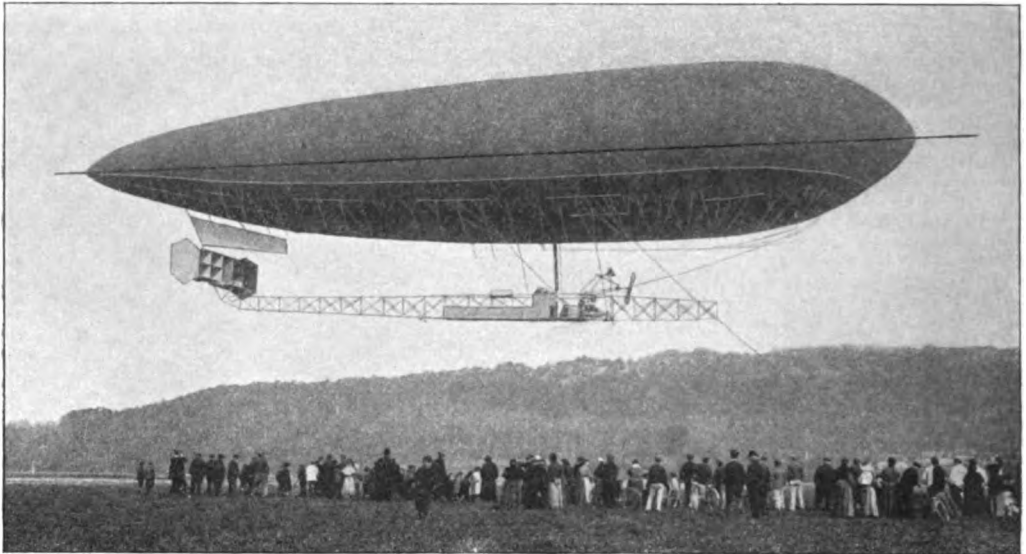


Fig. 2. Clément-Bayard.

trägliche Korrektur durch Anspannen der weit nach vorn und hinten reichenden Seile wohl zum Teil erreichen. Beim Siemens-Schuckert-Ballon fehlen jedoch solche Einrichtungen vollkommen, doch wurden trotzdem die unangenehmsten Deformationen der Hülle dadurch korrigiert, daß nachträglich an den Punkten der schärfsten Krümmung Stoffkeile eingesetzt wurden (siehe Fig. 5) ¹⁾.

Ein Vergleich der Fig. 5 mit dem Bilde Fig. 7 zeigt am allerbesten den durch obige Maßnahmen erzielten Erfolg.

Meines Wissens ist dies der erste Prallballon, an welchem eine solche Korrektur vorgenommen wurde. Die Erfahrungen, die hier gewonnen wurden, speziell die Maßaufnahme in Fig. 4, ermöglichen bei einem Neubau von ähnlicher Form und Größe eine bessere Berücksichtigung der Durchbiegungen, indem eine viel größere Anzahl und günstigere Verteilung der Keileinsätze schon für das Zeichnen der Schablonen für die Stoffbahnen angenommen wird.

¹⁾ Bezüglich der Aufhängung der Gondeln beim Siemens-Schuckert-Ballon verweise ich auf die von Direktor Otto Krell jun. in der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, Jahrgang 1911, Heft 5 u. f., veröffentlichte Beschreibung dieses Motor-Ballons.

Die Anforderungen, die von seiten der Abnehmer an die Motorluftschiffe gestellt werden, sind in den letzten Jahren, veranlaßt durch die große Konkurrenz, stark gestiegen, so daß die Erbauer von Prall-Luftschiffen in Zukunft genötigt sein werden, auch auf eine schöne äußere Form Wert zu legen. Es wird daher die Veröffentlichung eines Teiles der Erfahrungen und Untersuchungen der Siemens-Schuckert-Werke über die Formänderung von Prallballonhüllen wohl von allgemeinem Interesse sein.

Rechnerische bzw. graphische Ermittlung der Formänderungen.

Eine solche wurde auch seinerzeit für die Hülle des Siemens-Schuckert-Ballons ausgeführt. Es erübrigt sich hier, auf den Rechnungsvorgang näher einzugehen, da derselbe in der vorausgehenden Studie eingehend und allgemein behandelt ist. An gleicher Stelle ist auch der Beweis erbracht, daß die Er-

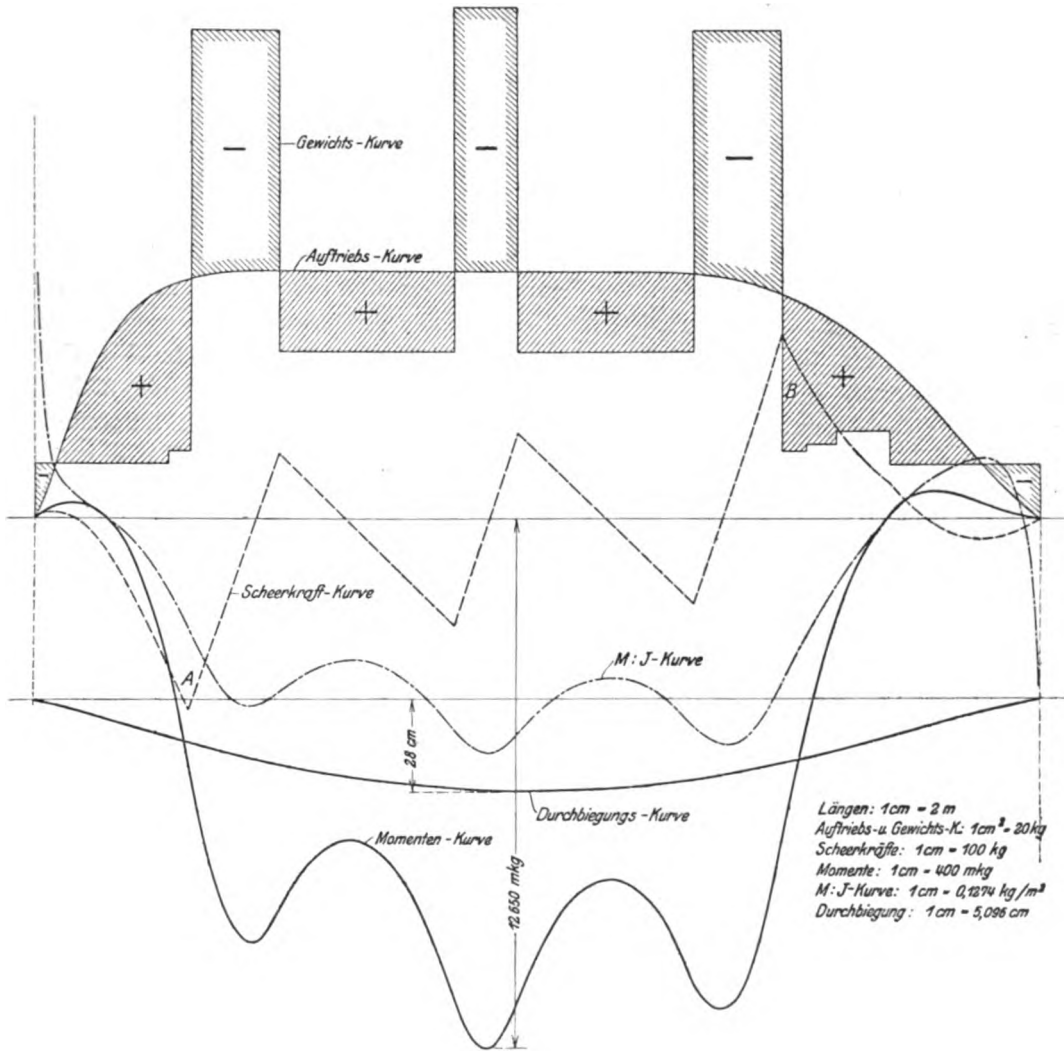


Fig. 3.

gebnisse der Berechnung mit jenen der Wirklichkeit recht gut übereinstimmen, wenn sich die zur Vereinfachung der Rechnungen getroffenen Annahmen nicht allzuweit von jener Wirklichkeit entfernen.

Bei der Errechnung der Durchbiegung der Hülle des S.-S.-Luftschiffes (Siehe Fig. 3) wurde jedoch der Einfluß der Scherkräfte, die eine Verschiebung der Hüllenquerschnitte hervorruft, vollständig vernachlässigt; hierzu fehlte seinerzeit die Kenntnis der diesbezüglichen Eigenschaften des für die Hülle verwendeten (dreifachen) Ballonstoffes. Aber auch über die Dehnungseigenschaften dieses Stoffes lagen unrichtige Werte vor.

Die Ermittlung derselben geschah mit Hilfe eines Stoffzylinders von etwa 30 cm Durchmesser und etwa einem Meter Länge, in welchem die Steigerung der Stoffspannung durch entsprechende Steigerung der Innenpressung erzielt wurde. Durch jeweilige Messung des Umfangs wurde die Dehnung bestimmt.

Diese Versuchsreihe, die sich etwa bis zu einer Spannung von 500 kg pro m erstreckte, war jedoch in einer halben Stunde erledigt; auf die in der vorausgegangenen Studie besonders hervorgehobene Eigenschaft des Ballonstoffes, sich bei Dauerbelastung (die hier allein in Frage kommt) dauernd, unter asymptotischer Annäherung an ein Maximum zu verändern, war somit keinerlei Rücksicht genommen worden. Die notwendige Folge war, daß der in die Rechnung eingeführte Wert für den Elastizitätsmodul ein zu großer war. Die für die Konstrukteure und Erbauer des S.-S.-Ballons zunächst überraschende Tatsache, daß die in Wirklichkeit eingetretene Durchbiegung den Wert der errechneten rund um das Zehnfache überschritt, fand damit eine Erklärung.¹⁾

Eine weitere, diesmal angenehme Überraschung ergab die Tatsache, daß der Ballon auch bei Nulldruck an der Bauchseite desselben nicht einknickte, während die Rechnung den Eintritt dieses Zustandes, das ist die Entspannung der äußersten oberen oder unteren Faser der Hülle, schon für elf Millimeter Wassersäule Überdruck ergab. Der Grund hierfür liegt in der Vernachlässigung des Einflusses der Stoffaufhängung. Diese erhöht bei Verminderung des Innendruckes im Ballon die Querschnitte desselben und ergibt somit für letztere wachsende Trägheitsmomente.

Bestimmung der Formänderung an dem mit Wasserstoff gefüllten Ballon.

Dieses Verfahren ist jedenfalls das genaueste, aber auch das teuerste; denn die erforderlich werdenden Korrekturen lassen sich nur mit Verlust an Zeit und dann

¹⁾ Trotz dieser Erkenntnis bestehen für die rechnerische Ermittlung der Formänderung der Hülle, speziell für einen Ballon in Bauart des S.-S.-Ballons, noch Schwierigkeiten. Diese sind begründet in der Unkenntnis über die Verteilung der Scher- und Zug-Spannungen an den Übergangsstellen der diesem Ballon besonders eigentümlichen Stoffbahnaufhängung, nach den, kreisförmigen Querschnitt aufweisenden, Enden des Ballons. Deshalb bedeuten gerade für diese Ballonkonstruktion die später zu beschreibenden „Wassermodellversuche“ eine besondere Vereinfachung für die Vorausbestimmung der Formänderung solcher Ballonhüllen.

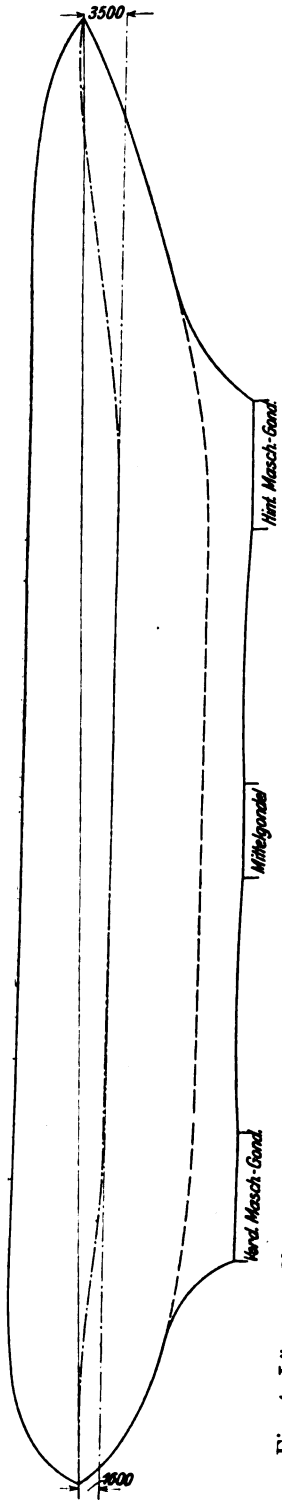


Fig. 4. Längeprofil des Siemens-Schuckert-Motorballons nach Maßaufnahme im Juni 1910 (3 Monate nach der ersten Füllung).

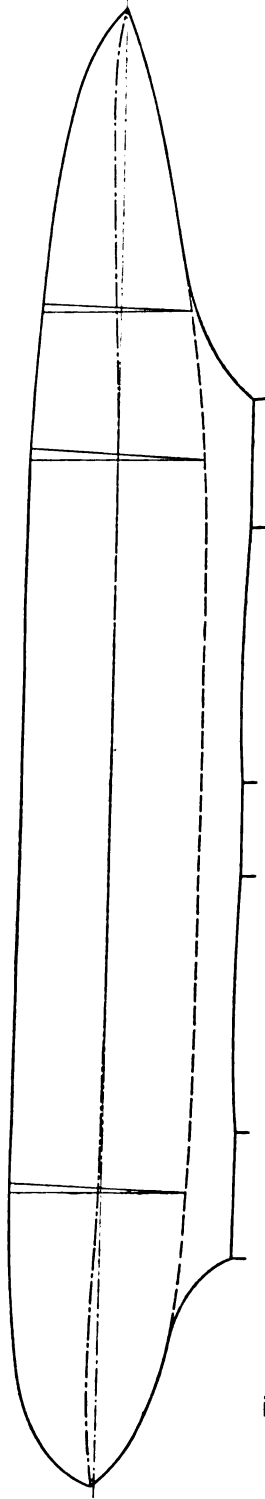
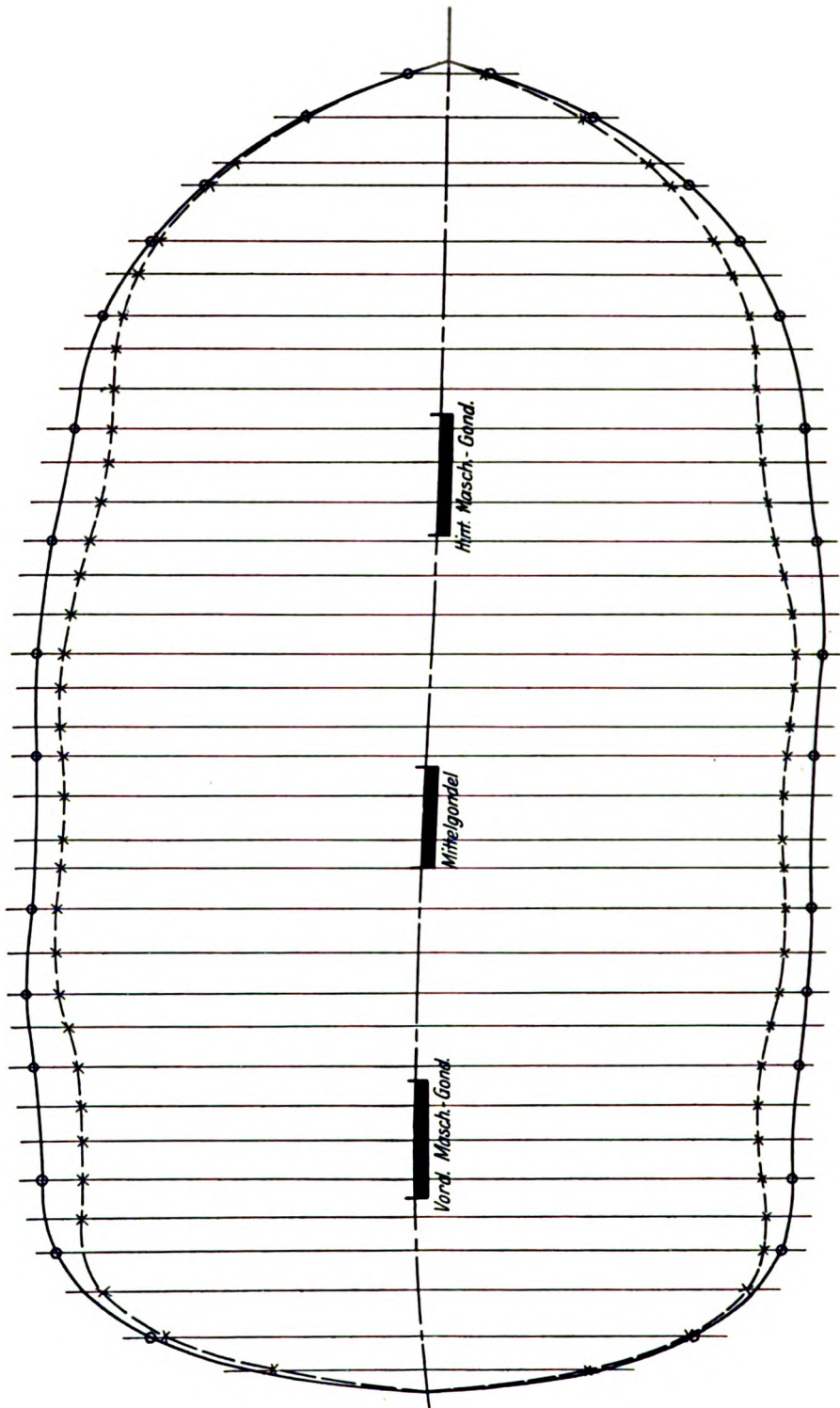


Fig. 6. Längeprofil des Siemens-Schuckert-Motorballons nach Korrektur der Durchbiegung durch 3 Stoff-Keileinsätze.



Längen 1:500 Breiten 1:100

o o x x Meßpunkte

----- 2-4 mm W.S.

————— 30-32 mm W.S.

Fig. 6. Horizontal-Projektion des Ballonkörpers des Siemens-Schuckert-Luftschiffes,

auch nur sehr grob vornehmen, wie das bereits teilweise besprochene Beispiel des Siemens-Schuckert-Ballons zeigt.

Die Maßaufnahme der Durchbiegung in der vertikalen Längsebene macht keinerlei technische Schwierigkeiten (Fig. 4). Dagegen ergeben sich solche bei Feststellung

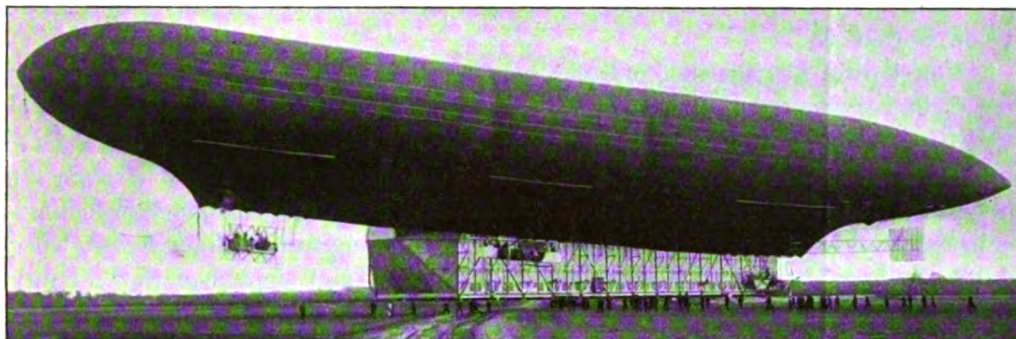


Fig. 7. Siemens-Schuckert-Luftschiff nach der Korrektur der Hülle.

der Querschnittsformen, zu welchem Zweck auch in der Ballonhalle der S.-S.-W. keine geeigneten Vorkehrungen getroffen waren. Man mußte sich darauf beschränken, die größten Breiten der Querschnitte durch Abloten des Ballons auf dem Boden der Halle zu messen, so daß unter Zuhilfenahme des aufgemessenen Längsschnittes (Fig. 4) für jeden Querschnitt das Verhältnis des größten zum kleinsten Durchmesser bekannt ist.

Die Resultate der Messungen sind in Fig. 6 wiedergegeben und zeigen recht deutlich, daß die Deformation der Querschnitte unter sonst gleichen Umständen

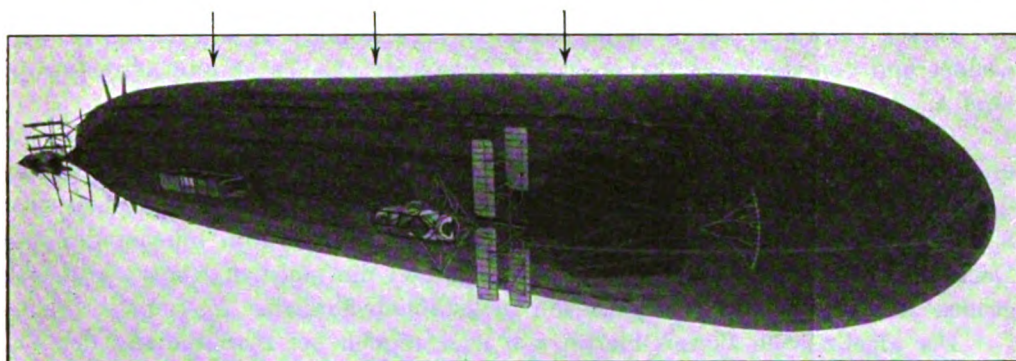


Fig. 8. Siemens-Schuckert-Luftschiff von unten gesehen.

umso größer sind, je größer die spez. Gewichtsbelastung ist, so daß der Ballonkörper an den Stellen, unter welchen die Gondeln hängen, Hüften erhält, die, wie die beiden Aufnahmen zeigen, umso deutlicher in Erscheinung treten, je geringer der künstliche Überdruck im Ballon ist. (Vgl. auch die photograph. Aufnahme Fig. 8, in welcher die Einschnürungen durch Pfeile gekennzeichnet sind.)

Durch Messung des Umfanges und der Längen wurde ferner festgestellt, daß sich der erstere gegenüber dem konstruktiv festgelegten um rund 7 % gedehnt hatte, während die Längen nur um 1,5 bis 2 % kürzer wurden.

In Fig. 6 erkennt man ferner, daß die Mittellinie der Horizontalprojektion keine Gerade ist.

Der Grund hierfür liegt indirekt in einer unangenehmen Eigenschaft des für die Hülle verwendeten Diagonalstoffes. Erst durch die oben angedeuteten Versuche über die Stoffänderungen ist derselbe zweifelsfrei nachgewiesen worden. Durch die verschiedenen Dehnungseigenschaften des Grundstoffes in der Ketten- und Schußrichtung und durch die überall gleichartig verlaufende Diagonalschicht der einzelnen Bahnen zeigt die Ballonhülle eine Verdrehung um die Längsachse, welche durch die angehängten Gewichte der Gondeln zum Teil aufgehoben wird. Hierbei aber wird durch Vermehrung der Spannungen auf der einen Seite des Ballon dort eine schärfere Einschnürung hervorgebracht, welche sich als Verkrümmung der Achse geltend macht.

In viel krasserer Weise zeigt dies der der Österreichischen Heeresverwaltung gehörige Körtingballon; sogar die z. B. in der Deutschen Luftfahrer-Zeitschrift veröffentlichten Bilder dieses Ballons lassen die Verdrehung deutlich erkennen.

Diese Formänderung der Hüllen läßt sich in Zukunft dadurch vermeiden, daß man Stoffbahnen verwendet, bei welchen die Diagonalschicht zum Teil rechts-, zum Teil linksgängig verlegt ist, so daß sich ihre verdrehende Wirkung praktisch aufhebt ¹⁾.

Bestimmung der Formänderung durch Modellversuche.

Dieses Verfahren wurde meines Wissens das erstmal von den Italienern angewendet und von Capitaine Crocco in der Zeitschrift „La Technique Aéronautique“ vom 1. Juni 1911 kurz beschrieben.

Es besteht darin, ein Modell des großen Ballons in einem solchen Maßstab und aus gleichem Stoff anzufertigen und durch Wasserfüllung so zu beanspruchen, daß an den korrespondierenden Punkten des Modellballons die gleichen spez. Spannungen entstehen wie beim wirklichen Ballon. Dadurch müssen die spez. Dehnungen und Verschiebungen im Modellballon die gleichen werden wie beim großen Ballon und die Deformationen maßstäblich ähnlich.

Der algebraische Beweis hierfür soll nachträglich bei Beschreibung der Versuche, die der Verfasser im Auftrage der S.-S.-W. in deren Diensten gemacht hat, erbracht werden.

Zunächst wäre zu erwähnen, daß diese Versuche auch durch Eintauchen des Modellballon in Wasser und unter Füllung mit Luft angestellt werden können (Fig. 11); jedoch müssen dann die Messungen an der Hülle unter Wasser gemacht werden, was nicht angenehm ist. Von vornherein sei bemerkt, daß diese Versuche keinen Anspruch auf Vollkommenheit machen, und zwar vor allem aus dem Grunde,

¹⁾ Eine Patentanmeldung, diese Verbesserung betreffend, ist von den Siemens-Schuckert-Werken seit längerem in fast allen Staaten eingereicht worden.

weil das Eigengewicht der großen Hülle sich im Modell nicht gleichartig berücksichtigen läßt. Der Vergleich der Deformationen des Modells mit denjenigen der Wirklichkeit hat aber gezeigt, daß das Verfahren praktisch vollkommen genügt.

Ermittlung des Modell-Maßstabes.

Für nebenstehenden kurzen zylindrischen Querschnitt aus einem Ballon (Fig. 9) wäre

p_a der Außendruck,
 p_i der Innendruck.

Beide Drucke verändern sich bekanntlich nach der Gleichung $h = \frac{p_0 \ln \frac{p_1}{p_0}}{\gamma_0}$, wobei γ_0 das spez. Gewicht des Gases ist. Da wir es hier mit verhältnismäßig kleinen Höhen zu tun haben, so kann man für die begrenzte Höhe diese logarithmische Kurve mit praktischer genügender Genauigkeit durch eine Gerade ersetzen, deren Gleichung allgemein

$$p_0 - p = h \gamma_0 \quad \text{oder} \quad h = \frac{p_0 - p}{\gamma_0} \text{ ist.}$$

O X sei dabei jenes gedachte Niveau, in welchem die beiden Druckkurven sich schneiden, wo also $p_i = p_a$ ist; z. B. bei einem vollkommen gefüllten Kugelballon ist O X die Ebene des untersten Endes des Füllansatzes.

Für die Form des zylindrischen Querschnittes ist an jeder Stelle der Krümmungsradius ρ der Hülle maßgebend, und zwar besteht allgemein die Beziehung

$$\rho = \frac{t}{p_u},$$

wenn t = Spannung pro Einheit der Stofflänge und

$$p_u = p_i - p_a$$

ist. Für ein wassergefülltes Modell besteht dieselbe Beziehung:

$$\rho' = \frac{t'}{p_u'}.$$

Wünscht man also, daß die Querschnittsform des Modells, welches allgemein im Maßstab $1/n$ des großen Ballons ausgeführt ist, ähnlich wird, so muß an allen korrespondierenden Stellen

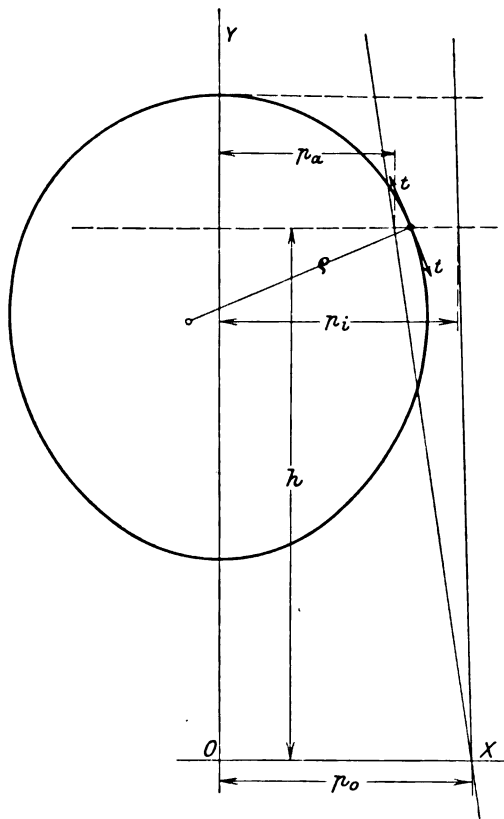


Fig. 9.

$$\rho' = \frac{1}{n} \rho$$

sein, somit auch

$$\frac{t'}{P_u'} = \frac{1}{n} \frac{t}{P_u}$$

und, nachdem im vorausgegangenen

$$P_u = P_l - P_a$$

oder

$$P_u = (P_0 - h \gamma_l) - (P_0 - h \gamma_a) = h (\gamma_a - \gamma_l)$$

ist, auch

$$\frac{t'}{h' (\gamma_a' - \gamma_l')} = \frac{1}{n} \frac{t}{h (\gamma_a - \gamma_l)}$$

Der Ähnlichkeit halber muß auch $h' = \frac{1}{n} h$ sein; somit erhält man

$$\frac{t' \cdot n}{h (\gamma_a' - \gamma_l')} = \frac{1}{n} \frac{t}{(\gamma_a - \gamma_l) h} \quad \text{und} \quad n^2 = \frac{t}{t'} \frac{(\gamma_a' - \gamma_l')}{(\gamma_a - \gamma_l)}$$

Fügt man nun eine zweite Gleichung, welche die Beziehung zwischen t und t' angibt, hinzu, so läßt sich der Maßstab des Modells eindeutig bestimmen.

Wie bereits erwähnt, ist es wertvoll, die Hülle des Modells aus dem gleichen Stoffe zu machen wie die des großen Ballons. Man erhält in diesem Falle auch die gleichen spez. Dehnungen, wenn man die spez. Spannungen $t' = t$ setzt. Diese Beziehung in die Gleichung für n^2 eingesetzt, gibt:

$$n^2 = \frac{(\gamma_a' - \gamma_l')}{(\gamma_a - \gamma_l)} = \frac{a'}{a}$$

Hierin ist $a = \gamma_a - \gamma_l$ der Auftrieb des Füllgases pro 1 cbm, der bekanntlich großen Schwankungen unterworfen ist, indem er, abgesehen von der Reinheit des Wasserstoffgases, von der Temperatur, dem absoluten Druck und dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft abhängig ist.

Hingegen ist $a' = \gamma_a' - \gamma_l'$ weniger veränderlich, da das spez. Gewicht des Wassers γ_a' sich nur wenig ändert, und γ_l' , das spez. Gewicht der Luft, gegenüber dem rund 800 mal schwereren Wasser keine Rolle spielt.

Man wird also praktisch

$$a' = \gamma_a' - \gamma_l' \sim 1000$$

setzen.

Nimmt man andererseits $a = \gamma_a - \gamma_l = 1,1$ an, so erhält man $n^2 = \frac{1000}{1,1}$ und $n = 30$.

Ermittlung und Verteilung der Kräfte am Modell.

Der Maßstab des Modells wurde mit

$$n = \sqrt{\frac{\gamma_a' - \gamma_l'}{\gamma_a - \gamma_l}} = \sqrt{\frac{a'}{a}}$$

gefunden.

Ist das Volumen des großen Ballons V , das des Modells $= V'$, so ist, entsprechend dem Maßstab n ,

$$V = n^3 V'.$$

Die Gesamtlast, die der Ballon zu tragen vermag, ist

$$G = V \cdot a,$$

wobei wie oben a der Auftrieb des Füllgases pro 1 m^3 , hingegen das Gewicht des im Modell befindlichen Wassers

$$G' = V' a', \text{ wobei } a' = 1000 \text{ kg/cbm},$$

und demnach das Verhältnis

$$\frac{G}{G'} = \frac{V \cdot a}{V' \cdot a'} = \frac{V \cdot a n^3}{V' \cdot a'}$$

oder

$$\frac{G}{G'} = n^3 \frac{a}{a'}.$$

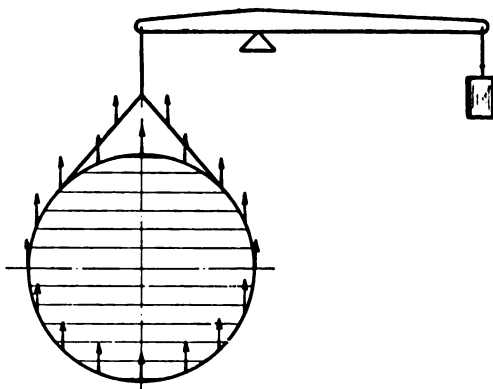


Fig. 10.

In diesem Verhältnisse sind die Gewichte der Gondeln, des Wassers und Benzinballastes usw. umzurechnen und bei dem wassergefüllten Modell als Kräfte nach aufwärts, wie das Bild Fig. 10 zeigt, anzubringen, was keinerlei Schwierigkeiten ergibt.

Die Berücksichtigung des Gewichtes der Hülle könnte jedoch nur dann ohne Fehler möglich sein, wenn man das in demselben Verhältnis reduzierte Gewicht der Hülle, wie in Fig. 10 angedeutet, auf die ganze Oberfläche der Hülle des Modells sinngemäß verteilen und wirken ließe.

Beim wassergefüllten Modell wirkt aber das Gewicht der Modellhülle gerade in entgegengesetzter Richtung, und man würde die gewünschte Richtung dieser Gewichte nur dann erhalten, wenn man den Versuch unter Wasser mit luffertem Modell anstellte. (Fig. 11.)

Jedoch auch da würde die Wirkung des Hüllengewichtes des Modells nur eine unvollkommene sein, denn da die Hülle des Modells aus dem gleichen Stoff wie der Ballon hergestellt ist, so verhalten sich die Hüllengewichte wie die Oberflächen, und zwar

$$\frac{H}{H'} = \frac{n^2}{1}.$$

Es ist also

$$H' = \frac{H}{n^2}.$$

Es sollte jedoch $H' : H$ im selben Verhältnis wie $G' : G$ stehen, also

$$H' = \frac{H}{n^2} \frac{a'}{a}.$$

Da $\frac{a'}{a} \sim 1000$ ist, so ist demnach das Gewicht der Modellhülle nur $\frac{1}{30}$ des reduzierten Hüllengewichtes.

Um also auch bei einer Anordnung des Versuches, wie in Fig. 11 gezeigt, das Hüllengewicht genau zu berücksichtigen, müßte man den Stoff der Modellhülle pro Flächeneinheit rund 30 mal schwerer wählen. Dies wird wohl praktisch kaum durchführbar sein.

Andererseits erkennt man, daß, wenn auch bei der Versuchsanordnung mit wassergefülltem Modell nach Fig. 10 das tatsächliche Gewicht der Modellhülle

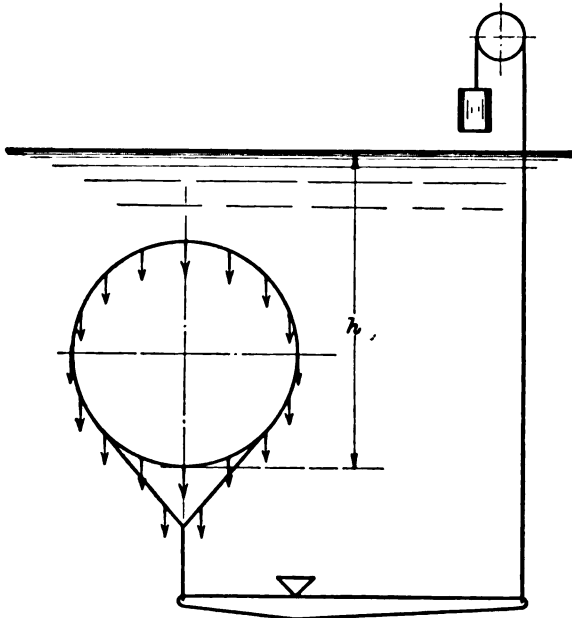


Fig. 11.

entgegengesetzt wirkt als erforderlich, der Einfluß dieses kein großer sein kann, weil es nur rund $\frac{1}{30}$ des reduzierten Ballonhüllengewichtes beträgt.

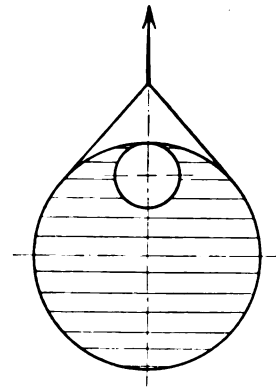


Fig. 12.

Da bei Prallballonen das Gewicht der Hülle bekanntlich $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ des Gesamtauftriebes ausmacht, so kann man dasselbe nicht vollkommen unberücksichtigt lassen.

In den hier in Bildern dargestellten Modellversuchen geschah dies durch Einlegen eines über die ganze Länge des Modells reichenden Luftsackes (siehe Fig. 12) von solchem Inhalt, daß das von ihm verdrängte Wassergewicht dem reduzierten Hüllengewicht einschl. Ventilen, Schläuchen usw. entspricht.

Außerdem sind die Querschnitte dieses Luftsackes so bemessen, daß auch die Verteilung des reduzierten Hüllengewichtes der Länge nach der Wirklichkeit möglichst entspricht.

Es ist nicht zu verkennen, daß das so angeordnete reduzierte Hüllengewicht die Querschnittsform unrichtig gestaltet, indem diese in den Höhendimensionen größer wird und in den Querdimensionen kleiner als bei einer der Wirklichkeit entsprechenden Verteilung (Fig. 10).

Durch Vermehrung des Innendruckes über den früher errechneten Vergleichsdruck $h' = \frac{h}{n}$ kann man diesen Fehler zum Teil ausgleichen; denn durch diese Druckvermehrung wird die Form der Querschnitte wieder breiter und niedriger.

Mit der Vermehrung des Innendruckes müssen jedoch auch die Spannungen in der Modellhülle wachsen, so daß $t' > t$ wird.

Man erreicht jedoch die gewünschte Verbreiterung der Querschnitte, ohne den letzteren Fehler zu erhalten, wenn man den Modellmaßstab kleiner als $1/30$ wählt.

Denn aus der Gleichung für den Modellmaßstab

$$n^2 = \frac{t \cdot a'}{t' \cdot a}$$

erkennt man, daß n größer als 30 wird, wenn man $t' < t$ macht.

Wählt man demnach $n_1 > 30$, so muß man die Innendrucke schon deshalb höher annehmen, als dem Vergleichsdruck $h' = \frac{h}{n}$ entsprechen würde, um t' auf t zu vergrößern.

Bei einem bestimmten Maßstab $n_1 > 30$ wird man den Fehler, der sich durch die in Fig. 12 dargestellte Anordnung des reduzierten Hüllengewichtes ergibt, am günstigsten ausgleichen.

Man erkennt aber auch aus der Gleichung $n^2 = \frac{t \cdot a'}{t' \cdot a}$, daß für einen Maßstab $n_1 > n$ $t' = t$ wird, wenn a , d. i. der Auftrieb pro Kubikmeter Wasserstoff, kleiner als 1,1 angenommen wird, ein Fall, der praktisch öfter vorkommt als $a > 1,1$.

Bleibt man bei letzterem Mittelwert und wählt aus obenangeführten Gründen einen Modellmaßstab $n_1 > n = 30$, so muß man, um $t' = t$ zu erhalten, wie bereits erwähnt, den Innendruck h' vermehren.

Die Vergrößerung von h' um dh' , die hierzu erforderlich ist, läßt sich jedoch nur angenähert errechnen, nämlich unter der Voraussetzung, daß sich bei der Vermehrung des Innendruckes um dh die Querschnittsform nicht ändert, d. h. also, daß auch dann $\rho' = 1/n \rho$ ist.

Dies trifft in Wirklichkeit nicht zu; denn der Querschnitt muß sich ein wenig verbreitern und in der Höhe geringer werden.

Für Punkt A, Fig. 13, gilt im großen Ballon

$$\rho = \frac{t}{(h + y) a},$$

andererseits für das Modell

$$\rho' = \frac{t'}{(h' + y' + dh') a'}$$

Will man $t' = t$ machen, so erhält man durch Division der beiden Gleichungen

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{(h + y) a}{(h' + y' + dh) a'}$$

Nach obiger Voraussetzung ist aber

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{1}{n} \text{ und ebenso } \frac{h' + y'}{h + y} = \frac{1}{n},$$

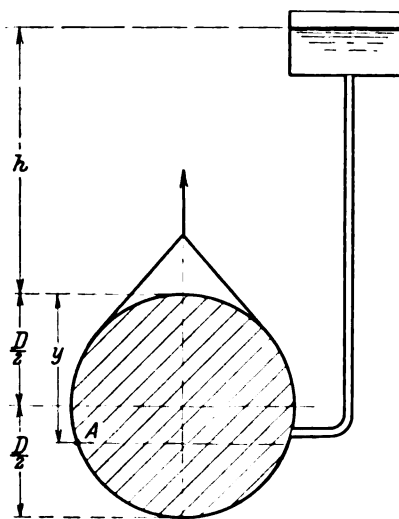


Fig. 13.

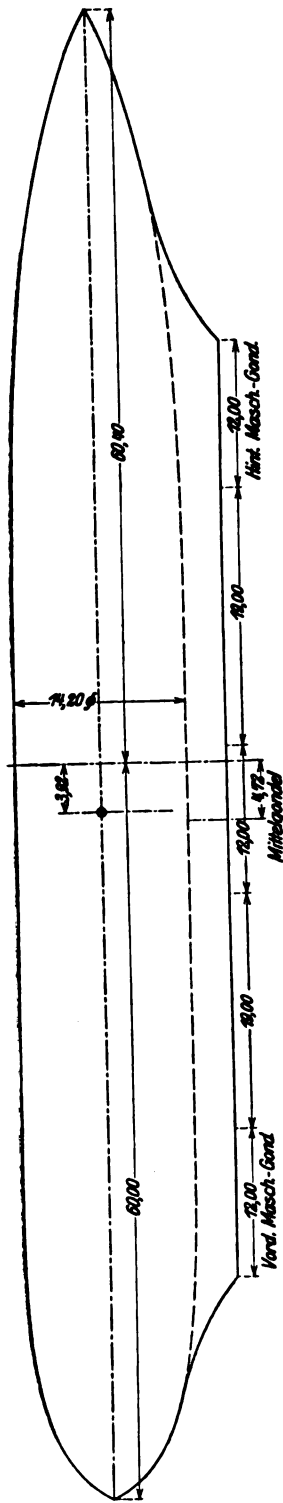


Fig. 14. Längsschnitt von Projekt 15.

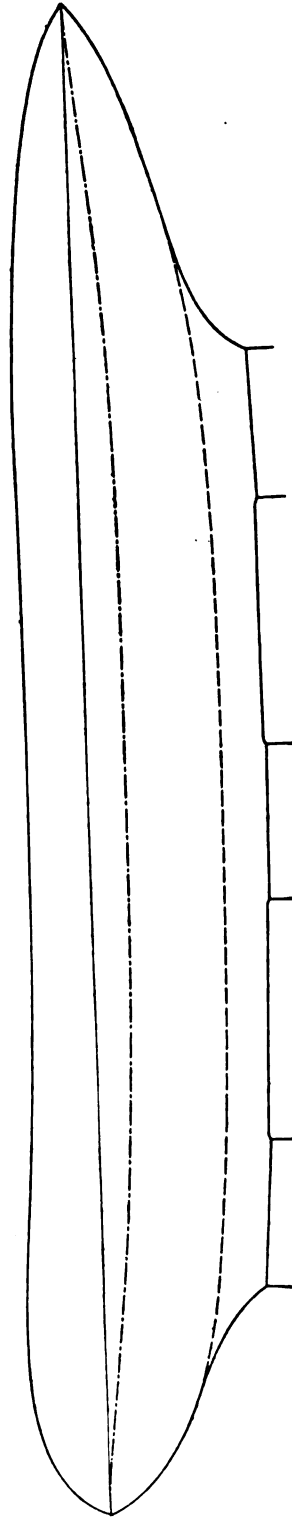


Fig. 16. Maßaufnahme des Modells mit Wasser gefüllt.

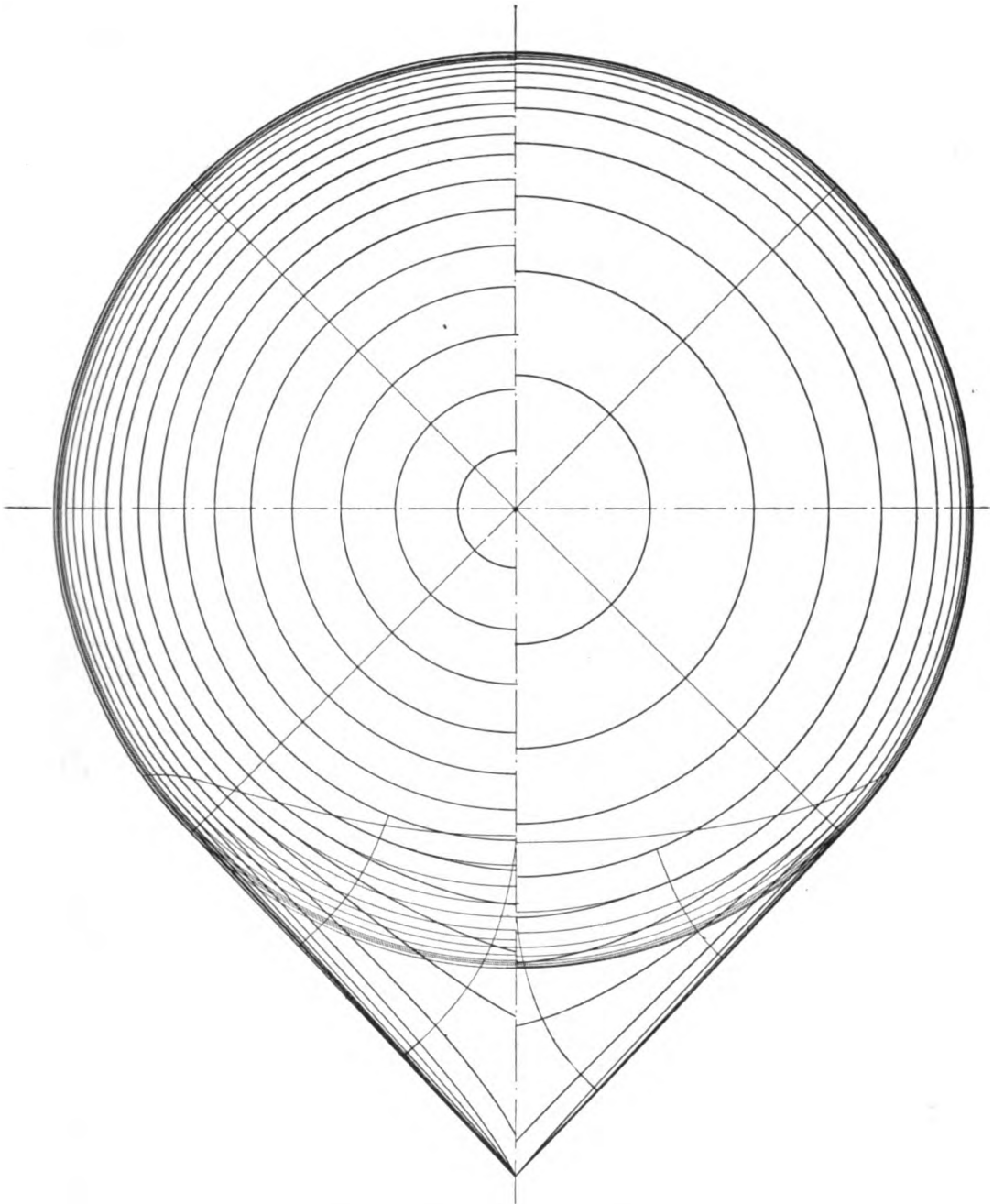


Fig. 16. Querschnitt des Modells und Verlauf der Stoffbahnen.

demnach auch

$$dh \cdot a' = (h + y) a \cdot n - (h' + y') a'$$

$$dh = \frac{(h + y) \left(a \cdot n - \frac{a'}{n} \right)}{a'} = n \cdot (h + y) \left(\frac{a}{a'} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Man erkennt, daß dh' mit y wächst; errechnet man z. B. dh' für $y = D/2$, so müssen an allen Punkten oberhalb und unterhalb $t' \geq t$ und $\rho' \geq 1/n \rho$ sein.

Die Größe des Fehlers läßt sich ohne weiteres nicht errechnen, er ist aber umso kleiner, je größer h gegenüber $D/2$ ist.

Der im nachfolgenden zu besprechende Modellversuch wurde für ein Projekt gemacht, dessen Ballonkörper in den Fig. 14 und 16 wiedergegeben ist. Derselbe hat die gleiche Länge wie der S.-S.-W.-Ballon und unterscheidet sich von diesem nur durch das größere Volumen, und zwar sind sämtliche Durchmesser im gleichen Verhältnis vergrößert.

Das Modell dieses Projekts ist aus dreifachem Diagonalstoff hergestellt. Er entspricht hinsichtlich seiner Festigkeit und Dehnungseigenschaften demjenigen, welcher seinerzeit für den S.-S.-W.-Ballon verwendet wurde.

Während letzterer aus 42 Längsbahnen zusammengesetzt ist, wurden für das Modell nur 8 angenommen; dies geschah, um die Verstärkung, die sich durch die unvermeidlichen Nähte ergibt, auf das gleiche Verhältnis zum unverstärkten Stoff zu bringen wie beim großen Ballon, trotzdem die Überlappung der Bahnen im Modell nur 9 mm gegenüber 30 mm beim Ballon beträgt.

Die Verteilung der Bahnen und Nähte ergibt die Querschnitts-Projektion, Fig. 16, und das Bild des luftgefüllten Modells, Fig. 17.

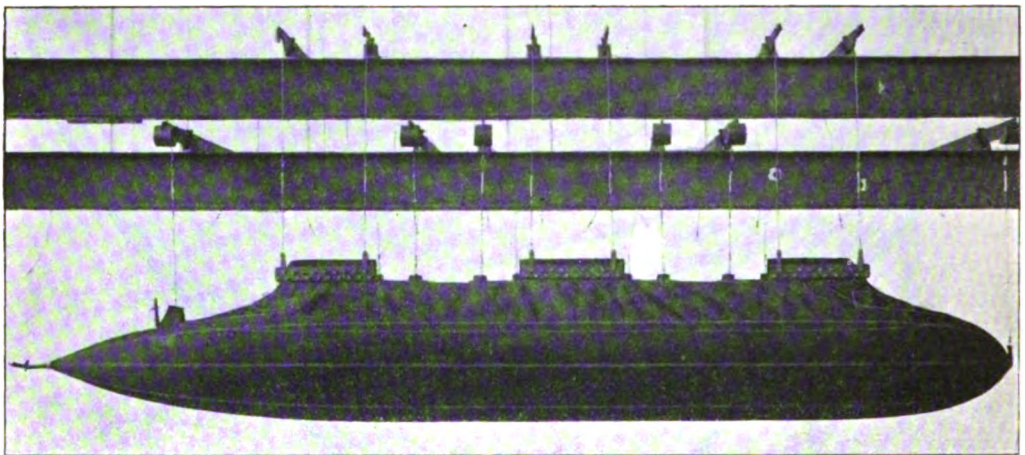


Fig. 17. Modell mit Luft gefüllt.

Der Maßstab des Modells ist $1 : 33\frac{1}{3}$ und nicht $1 : 30$, aus Gründen, die bereits oben angeführt wurden.

Das reduzierte Gewicht der Hülle wurde durch einen Luftsack berücksichtigt und die anderen Gewichte durch entsprechend schwere Sandsäcke unter Zuhilfenahme von doppelarmigen Hebeln, Drahtseilen und nachstellbaren Spanschlössern ersetzt. Auch das Gewicht der Horizontalrudder, der Stabilisierungsflächen und der Nasenfesselung wurde durch besondere Hebel und Sandsäcke ersetzt. Siehe auch die Bilder Fig. 17 und 24 u. 25.

Das Gewicht der Modellhülle inkl. Luftsack und der Klemmvorrichtungen wurde vorher durch auf den Hebeln verschiebbare Reiter aus Gußeisen ausbalanciert.

Nach der Füllung mit Wasser wurde der Druck desselben sogleich auf eine Höhe gebracht, die einem Überdruck von 25 mm beim großen Ballon entspricht, und die Formänderungen während der ersten Zeit häufiger, später nur in größeren Zeitabständen verfolgt.

Entsprechend dem Maßstab des Modells $1 : 33\frac{1}{3}$ wäre nach früherem der Vergleichsdruck, unter der Annahme, daß $a = 1,1 \text{ kg/cbm}$,

$$h' = \frac{25}{1,1 \cdot 33\frac{1}{3}} = \frac{22,72}{33\frac{1}{3}} = 0,6816 \text{ m} \sim 682 \text{ mm Wassersäule.}$$

Die Spannungen t' würden hierbei kleiner als t sein, und zwar ergibt sich aus Gleichung

$$n^2 = \frac{t \cdot a'}{t' \cdot a};$$

$$t' = \frac{t \cdot a'}{n^2 \cdot a} = t \cdot \frac{1000}{33\frac{1}{3}^2 \cdot 1,1} = 0,82 t.$$

Um jedoch $t' = t$ zu machen, benötigt man nach früherem eine Vergrößerung des Innendruckes um

$$dh = n(h + y) \left(\frac{a}{a'} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Dies ergibt für

$$h = \frac{25}{1,1} \text{ und } y = \frac{D}{2} \sim 8 \text{ m,}$$

$$dh = 33\frac{1}{3} \cdot 30,74 \left(\frac{1,1}{1000} - \frac{1}{33\frac{1}{3}^2} \right) \sim 194 \text{ mm,}$$

somit $h' + dh = 682 + 194 = 876 \text{ mm Wassersäule.}$

Die Querschnittsformen des wasserbelasteten Modells zeigen das Bild Fig. 18 und zwei Maßaufnahmen Fig. 19. Sie stimmen mit den Querschnitten des großen Ballons, soweit ein Vergleich möglich ist, nämlich im Verhältnis der Höhe zur Breite, recht gut überein.

Die Formänderung des Längsschnittes des Modells muß natürlich auch der des großen Ballons entsprechen; denn sobald die Verteilung der Gewichte am Modell der am großen Ballon vollkommen entspricht, wird jeder Teil der Modellhülle durch die gleichen spezifischen Kräfte beansprucht wie der diesen an der Ballonhülle entsprechende Teil. Es müssen daher auch die spezifischen Dehnungen und auch die Stoffverschiebung die gleichen sein.

Da die Spannungen jedoch von Ort zu Ort wechseln, so ergibt sich, daß diese Veränderung beim Modell auf der dem Maßstab n entsprechenden geringeren Entfernung stattfindet als beim Ballon. Hieraus und auch aus dem Umstande, daß sich die Nähte und Verstärkungen am Ballon nur angenähert im Modell gleichartig berücksichtigen lassen, mögen sich Ungenauigkeiten des Modellversuches ergeben, die aber gegenüber den großen Formenänderungen, die allein durch die

Formänderungseigenschaften des Ballonstoffes bedingt sind, nur eine untergeordnete Bedeutung haben, wie der Vergleich der Aufnahmen des Modellängsschnittes Fig. 15 und 20 mit dem des Ballons Fig. 4 ergibt.

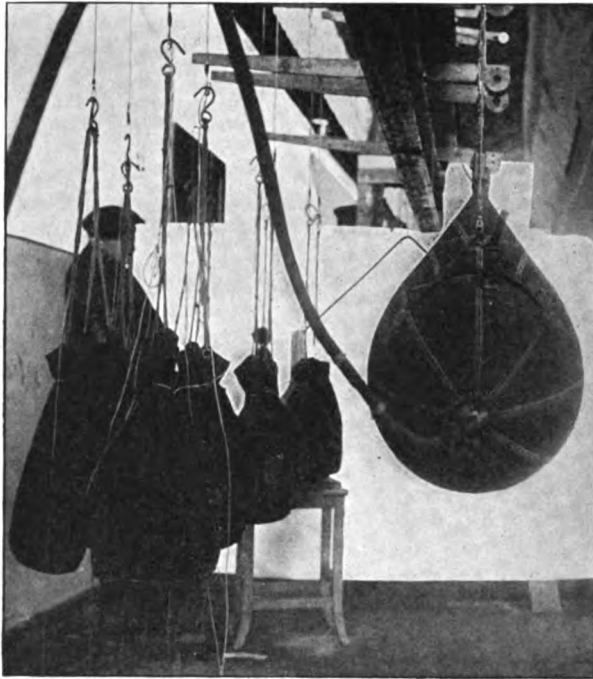


Fig. 18.

Fig. 21 zeigt noch die Horizontalprojektion des wassergefüllten Modells, in welcher die Einschnürungen durch die Gondelgewichte genau so wie beim Ballon (Fig. 6) erkennbar sind.

Ein solcher Modellversuch gestattet danach mit verhältnismäßig sehr geringen Kosten die Berücksichtigung der Formenänderung eines neu zu bauenden Ballon schon bei der Konstruktion desselben, d. h. beim Zeichnen der Stoffschablonen usw. Er kann aber auch noch weitere wertvolle Aufschlüsse ergeben, wie z. B. über die Volumenveränderung, die durch die Stoffdehnung und durch die von der Kreisform abweichenden Querschnitte bedingt ist, und die bei der Bestimmung des Ballonvolumens, wie schon eingangs erwähnt, nur durch Anwendung von Erfahrungswerten berücksichtigt werden kann.

Ferner über die Lage des Volumenschwerpunktes, welche, veranlaßt durch die Formenänderung des Ballons, mit der auf Grund der Konstruktionszeichnungen errechneten auch in Wirklichkeit nicht übereinstimmt. Fehler, die in dieser Hinsicht gemacht werden, bedingen nachträgliche Gewichtsverschiebungen, die sich durch Verschiebung der Gondeln wegen ihres hohen Gewichtes für gewöhnlich am leichtesten durchführen lassen, wenn diese durch eine Seiltakelage mit dem Ballon verbunden sind.

Weitaus schwieriger läßt sich ein solcher Fehler beheben, wenn die Gondeln wie beim S.-S.-Ballon vermittels einer Stoffaufhängung angehängt sind.

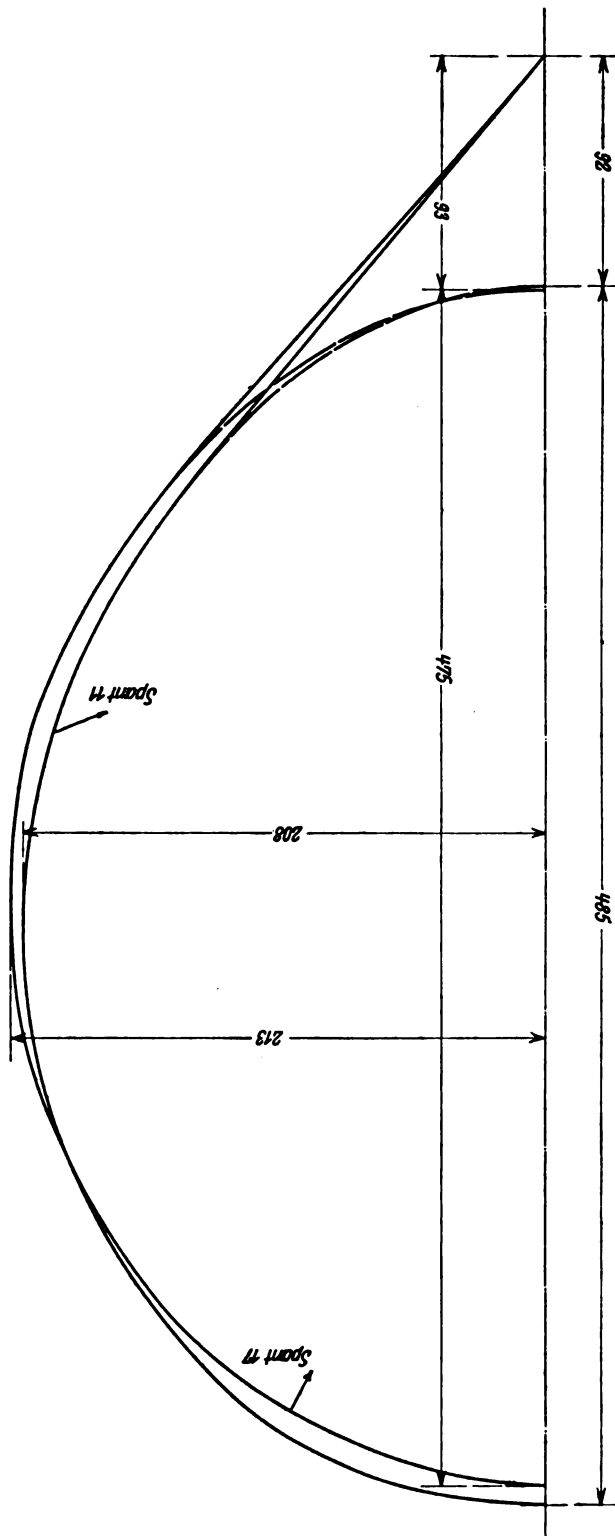


Fig. 19.

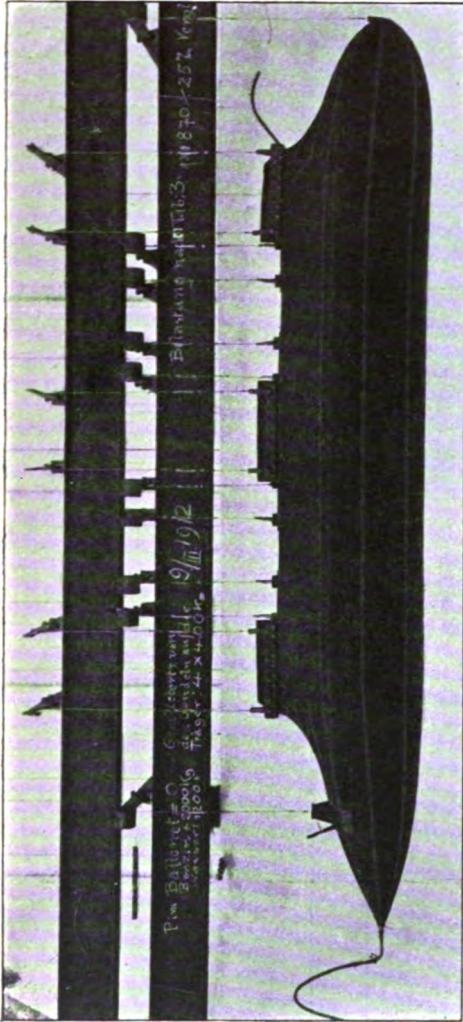
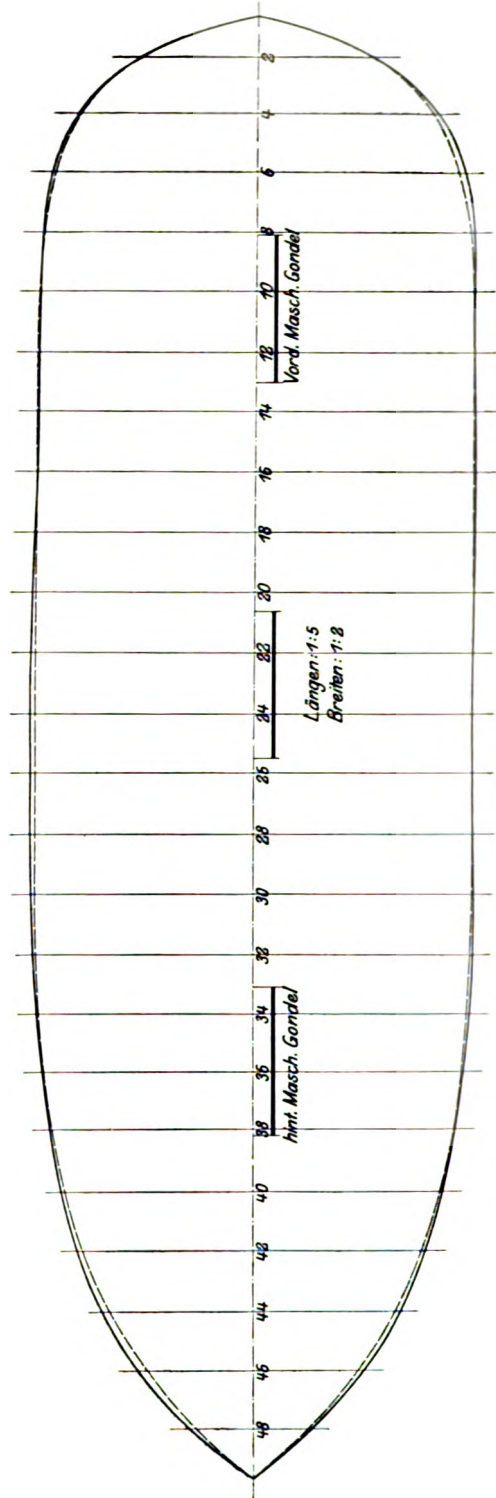


Fig. 20. Modell mit Wasser gefüllt.



— Horizontal-Projektion des wassergefüllten Modells $p = 870 : 25 \text{ mm W.S.}$
 - - - Längsschnitt des Modells entsprechend der Konstruktionszeichnung.

Fig. 21.

Zur Ermittlung des Volumenschwerpunktes mit Hilfe des Modells erscheint es ratsam, einen doppelten Versuch vorzunehmen, und zwar einmal mit eingelegtem Luftsack, welcher das dem Hüllengewicht entsprechende Wasserquantum verdrängt (Fig. 12), und einmal ohne denselben. Im letzteren Falle muß man das reduzierte Gewicht der Hülle zu dem Gewicht der Gondeln hinzufügen. Man schaltet dadurch für die Momentenrechnung das Volumen des Luftsackes und die Lage des schwer zu bestimmenden Schwerpunktes des Volumens desselben aus; dafür erhält man aber durch die abermalige Formänderung infolge des um das Volumen des Luftsackes schwerer gewordenen Modells eine andere Fehlerquelle.

Der Vergleich der beiden durch Momentrechnung gefundenen Resultate wird es ermöglichen, den Volumenschwerpunkt der Hülle mit der gleichen Genauigkeit zu bestimmen, die bei der Errechnung der Lage des Gewichtschwerpunktes des gesamten Ballons, bestehend aus Hülle, Gondeln usw., praktisch erreichbar ist.

Die Bestimmung des Volumenschwerpunktes der Hülle kann auch für verschiedenen Innendruck und verschiedene Belastungszustände entsprechend einem geringeren Gesamtauftrieb, wie er sich bei Erreichung großer Höhen naturgemäß ergibt, wiederholt werden. Hierbei kann man auch die Volumenveränderung bei wechselndem Innendruck bestimmen.

Fig. 22 zeigt die Resultate eines solchen Versuches mit dem in den Bildern Fig. 16, 17 usw. wiedergegebenen Modell.

Man erkennt, daß die Volumenverminderung bei Abnahme des Innendruckes von 800 bis 50 mm Wassersäule entsprechend der Abnahme des Innendruckes von 23,5 bis 0 mm beim großen Ballon rund 12 % beträgt. Die gleichen Versuche mit dem letzteren ergaben innerhalb der gleichen Druckveränderung jedoch nur 8 %. Dieser Unterschied ist darauf zurückzuführen, daß der Modellversuch mit eingelegtem und luftgefülltem Luftsack vorgenommen wurde, welcher, wie schon früher dargelegt, eine übermäßige Streckung der Querschnitte verursacht. Diese Streckung muß selbstverständlich umsomehr in Erscheinung treten, je geringer der Innendruck ist.

Eine Volumenänderung von 8 % entspricht z. B. einer Temperaturschwankung des Füllgases von rund 22° Celsius oder einer Veränderung des Barometerstandes von ungefähr 60 mm Quecksilbersäule.

Daraus ergibt sich auch die Tatsache, daß der S.-S.-W.-Ballon zur Aufnahme der Volumenveränderung der im Laufe eines oder mehrerer Tage eintretenden Temperatur und Druckschwankungen in der Halle keine Amme benötigt. Eine weitere Bedingung hierfür ist aber, daß die Verteilung der Gewichte, wie Gondeln usw., am Ballon eine Biegungsbeanspruchung für die Hülle ergibt, die auch bei — Nulldruck an der Unterseite des Ballons — kein Einknicken derselben herbeiführt.

Der Vorteil solcher Eigenschaften eines Ballons liegt nicht nur in dem Fortfall der Amme und deren Anschaffungspreis, sondern auch darin, daß die Wasserstoffgasfüllung bei Ersatz des durch Penetration entweichenden Wasserstoffes sich nur sehr wenig verschlechtert. Die Amme stellt eine gewaltige Oberflächenvermehrung des Ballons dar, wodurch der Einfluß der Diffusion entsprechend vermehrt wird.

Noch unangenehmer macht sich der Umstand geltend, daß die Unterseite der Amme selten Innendruck aufweist und dadurch ein Ansaugen von Luft in dieselbe hervorruft.

Durch Verwendung eines sehr dichten, also stark gummierten Stoffes für die Amme anstatt des hierfür gebräuchlichen leichten zweifachen Stoffes ließe sich wohl der schädliche Einfluß vermindern.

Die Modellversuche lassen sich nun noch erweitern auf die Bestimmung der Formänderung, die der Ballon durch Biegemomente erfährt, welche durch Kräfte verursacht werden, die in der Horizontalen

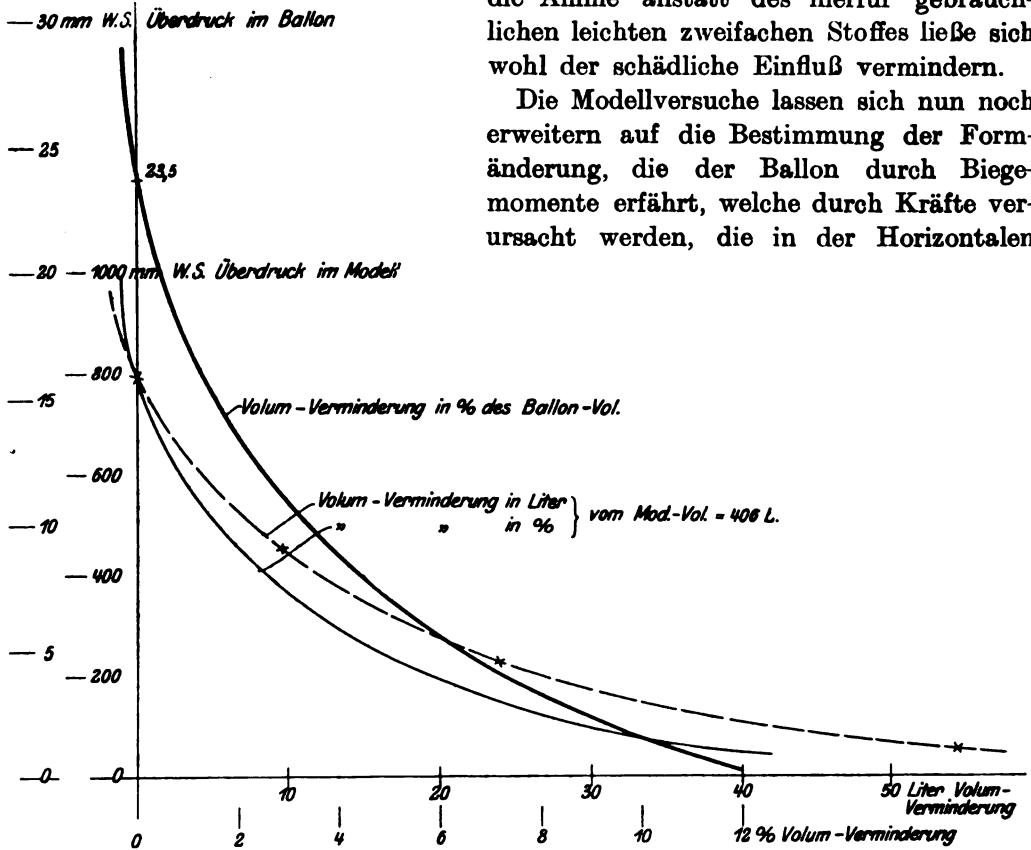


Fig. 22. Modellversuche über Volumveränderung bei Veränderung des Innendrucks.

wirken, und endlich auf die Bestimmung der Formänderung durch zusätzliche Momente in der Vertikalen.

Biegemomente in der Horizontalebene ergeben sich z. B. während der Fahrt durch Legen des Seitensteuers.

Die dabei auftretenden Durchbiegungen sind z. B. beim S.-S.-Ballon ziemlich beträchtlich und zum Teil in dem großen Streckungsverhältnis begründet, jedoch nach Aussage des Oberingenieurs Dürr der Zeppelin-Luftschiffbauwerft auch bei den Zeppelinballonen erkennbar¹⁾.

Fig. 23 zeigt die Bestimmung der Biegemomentenkurve des Ruderdruckes für das S.-S.-W.-Luftschiff unter der Annahme, daß die Reaktion der Luft auf die Hülle nur durch eine Drehbewegung um den Schwerpunkt des Ballons zustande kommt.

¹⁾ Bei dem S. S.-Ballon beträgt die Ruderkraft bei vollkommen gelegtem Ruder und einer Fahrgeschwindigkeit von nur 16 m pro Sekunde bereits ungefähr 600 kg.

Die so ermittelten Biegemomente sind Minimalwerte, insofern, als bei gleichzeitiger Voraufahrt die Reaktionskräfte sich weit nach dem Kopf des Ballons verschieben und hierdurch eine Vermehrung des Maximal-Biegemomentes auf das Doppelte bis Dreifache hervorrufen werden.

Diese Biegemomente lassen sich am Modell nicht gleichartig hervorbringen, deswegen haben die in Fig. 26 wiedergegebenen Gesultate von Biegeversuchen

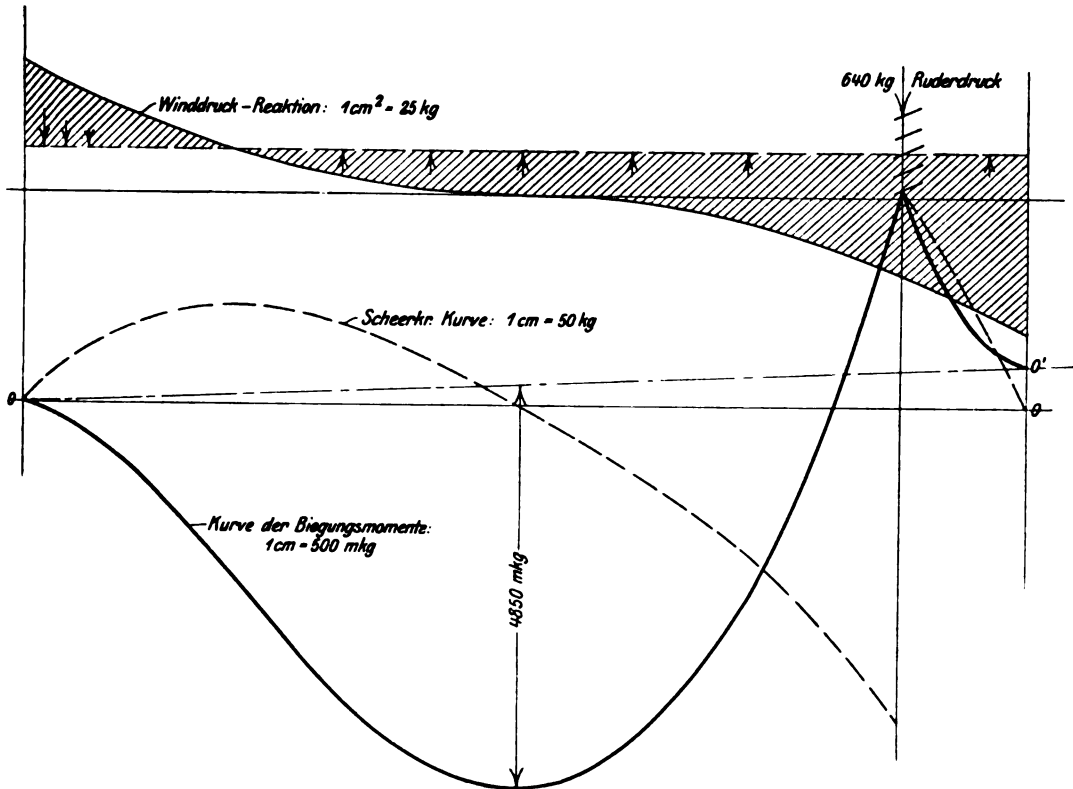


Fig. 23. Biegebeanspruchung durch Ruderdruck und Winddruck bei 16 m/sek. Fahrt.

in der Horizontalen, deren Anordnung aus dem Bilde Fig. 24 und 25 deutlich hervorgeht, nur Wert für den Vergleich verschiedener Modelle bzw. verschiedener Ballone untereinander.

Der Umstand, daß bei unseren Ballonstoffen die Formänderung bei gleichbleibender Beanspruchung von der Dauer der letzteren abhängig ist und sich dem Maximum asymptotisch nähert, bedingt, daß man auch diese Biegeversuche als Dauerversuche ausführt. Man unterbricht dieselben praktisch dann, wenn die in immer größeren Zeitabständen gemessenen Durchbiegungen keine nennenswerte Vergrößerung derselben ergeben.

Die Zeitdiagramme der Fig. 26 und 27 lassen erkennen, daß dies mit rund 50 Stunden erreicht ist.

Die Messungen der Durchbiegung nach Entlastung sind jedoch auch von Interesse, indem sie die Richtigkeit des aus den im Eingang erwähnten Stoff-

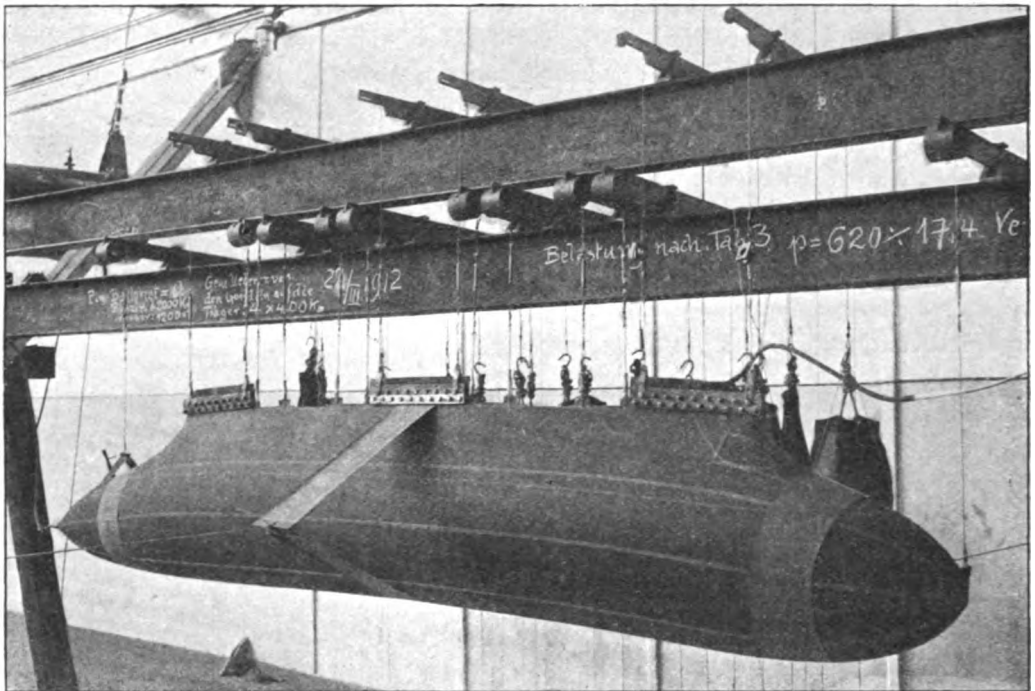


Fig. 24.

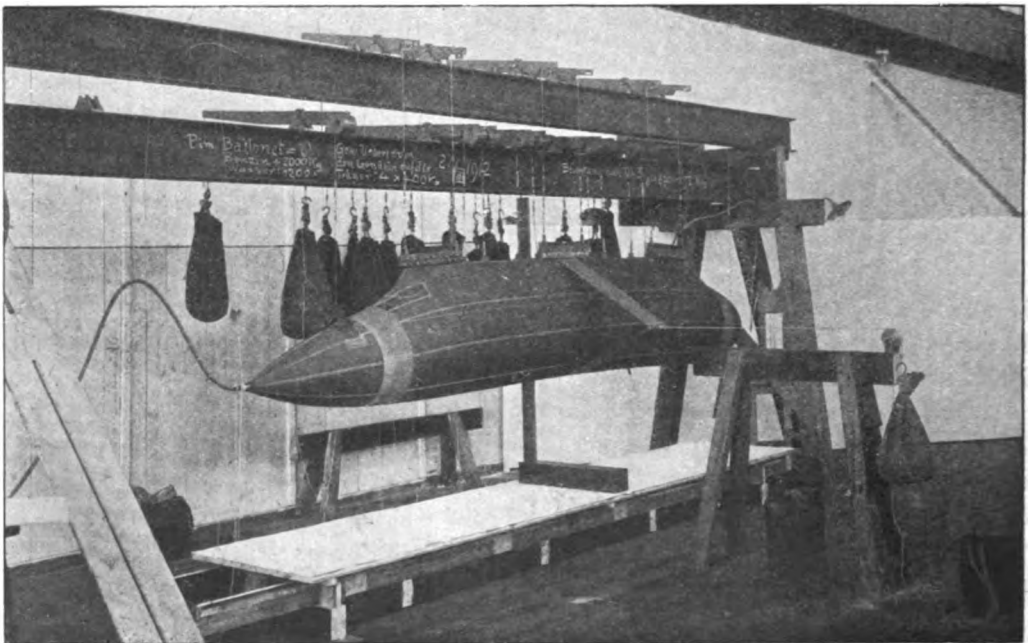


Fig. 25.

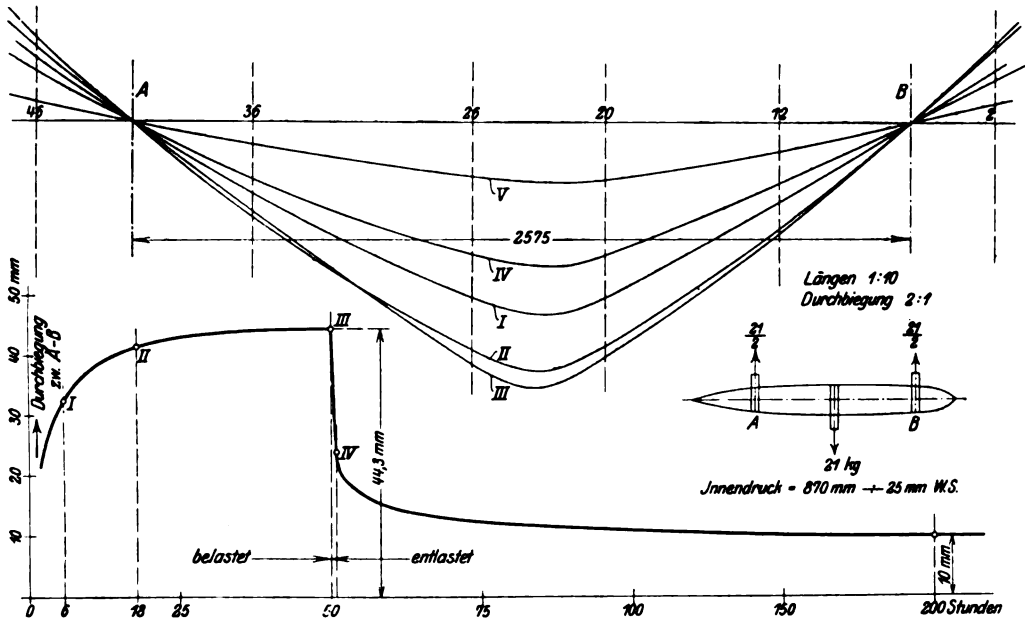


Fig. 26. Durchbiegungsversuche in der Horizontalen mit wassergefülltem Modell.

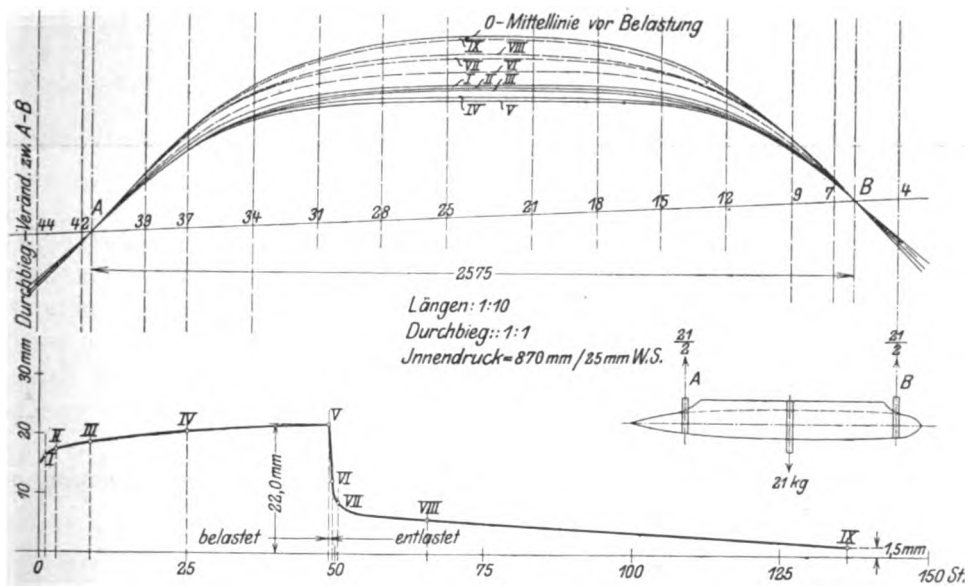


Fig. 27. Durchbiegungsversuche in der Vertikalen mit wassergefülltem Modell.

Formänderungsversuchen gewonnenen Schlusses ergaben, daß die Durchbiegung, die ein Prallballon durch Biegungsbeanspruchungen erlitten hat, nur durch Beseitigung derselben nie ganz verschwindet.

Einen Modellversuch für ein weiteres Projekt zeigt Fig. 28. Durch Vergleich dieses Bildes mit Fig. 20 erkennt man, daß durch die Veränderung der Form des Ballonkörpers eine starke Verminderung der Durchbiegungen erreicht wurde.

Diese Modellversuche haben schon jetzt gezeigt, daß sie eine angenehme Hilfe für den Entwurf und die Konstruktion von Prall-Luftschiffen sind; sie wurden jedoch von den Siemens-Schuckert-Werken nur so weit durchgeführt, als dieselben zum Studium der mit dem Motorballon gemachten Erfahrungen und für einige

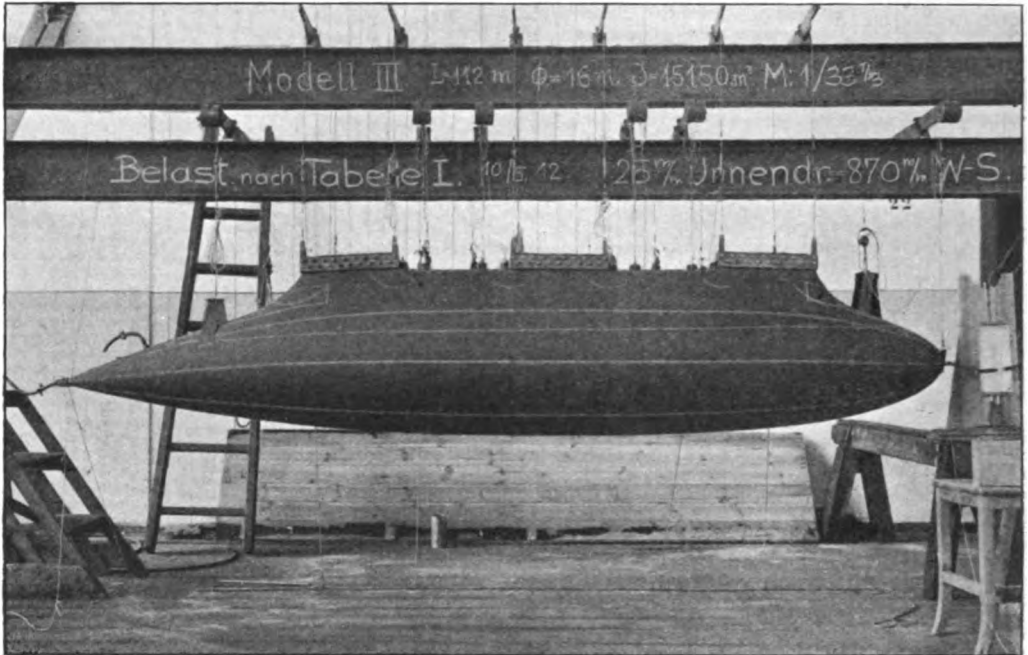


Fig. 28.

Neuentwürfe notwendig erschienen, und zeigen auch, wie diese Beschreibung erkennen läßt, in ihrem Aufbau wenig System. Vor allem sind diese Modellversuche nur für eine Prallballontype gemacht worden, und auch hier ohne vollkommene Klarstellung der Fehlergrößen, die sich durch Vereinfachungen ergeben.

Eine planmäßige Wiederholung und Weiterentwicklung wäre eine dankenswerte Aufgabe für eines der heute schon bestehenden oder im Entstehen begriffenen Laboratorien für das Studium der Luftschiffahrt.

Die Anregung hierzu zu geben, soll der Hauptzweck dieser Veröffentlichung sein.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Luftfahrt und Wissenschaft.

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker.

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson,**

Dipl.-Ing **C. Eberhardt,**

Gerichtsassessor **J. Sticker,**

Professor **Dr. R. Süring,**

Wirkl. Geh. Oberbaurat **Dr. H. Zimmermann.**

Früher erschienen:

1. Heft: **Luftfahrtrecht.** Von Dr. jur. **Josef Kohler,** Geh. Justizrat, ordentlicher Professor der Rechte an der Universität Berlin. VI und 45 Seiten. Preis M. 1,20. (Stiftung des Kaiserlichen Aero-Clubs, Berlin.)
2. Heft: **Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Luftpolektrizität.** Von Dr. **M. Dieckmann,** Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Kgl. Technischen Hochschule München. 1. Teil: **Die Empfangsstörung.** VIII und 73 Seiten. Mit 56 Abbildungen. Preis M. 3,—. (Stiftung des Berliner Vereins für Luftschiffahrt, Berlin.)
3. Heft: **Zur Physiologie und Hygiene der Luftfahrt.** Von Dr. med. **N. Zuntz,** Geh. Regierungsrat, Professor der Physiologie an der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin. V und 67 Seiten. Mit 11 Textfiguren. Preis M. 2,—. (Stiftung des Magdeburger Vereins für Luftschiffahrt, Magdeburg.)

Demnächst erscheinen:

- Versuche an Doppeldeckern zur Bestimmung ihrer Eigengeschwindigkeit und Flugwinkel.** Von Dipl.-Ing. **C. Th. Wilhelm Hoff,** Assistent an der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt.
- Die Durchforschung des tropischen Luftozeans in Niederländisch-Ost-Indien.** Von Dr. **W. van Bemmelen,** Direktor des Kgl. Magnet. Meteorologischen Observatoriums in Batavia.
- Die Querschnittsformen der Vogelflügel und ihre Verwertung für Luftschrauben.** Von Dipl.-Ing. **C. Eberhardt,** Ingenieur beim Luftschiffer-Bataillon, Berlin.
- Tabellen zur astronomischen Ortsbestimmung.** Von Dr. **A. Kohlschütter.**
- Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Luftpolektrizität.** Von Dr. **M. Dieckmann,** Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Kgl. Techn. Hochschule München. 2. Teil: **Die Reichweitenänderung.**
- Die Untersuchung der Flugzeug- und Luftschiff-Maschinen.** Von Professor **A. Wagener,** Leiter des Maschinen-technischen Laboratoriums der Kgl. Techn. Hochschule Danzig.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

East Engin.
Library

TL
545-
.L949

Luftfahrt und Wissenschaft

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson**,

Dipl.-Ing. **C. Eberhardt**,

Gerichtsassessor **J. Sticker**,

Professor Dr. **R. Süring**,

Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr. **H. Zimmermann**

Heft 5

Die Erforschung des tropischen Luftozeans in Niederländisch-Ost-Indien

Von

W. van Bemmelen



Berlin

Verlag von Julius Springer

1913

Die Erforschung des tropischen Luftozeans in Niederländisch- Ost-Indien

Von

Dr. W. van Bemmelen, 1905-

Direktor des Königlichen Magnetischen und Meteorologischen Observatoriums
in Batavia

Mit 13 Textfiguren



Berlin
Verlag von Julius Springer
1913

Stiftung G. v. H.-Ryssen (Holland).

Vorwort.

Diese Schrift dankt ihre Entstehung dem von der Schriftleitung dieser Sammlung ausgesprochenen Wunsche, daß auch einer derjenigen, welche in tropischen Ländern, weit von der Wiege der Luftfahrt entfernt, die Aerologie unter ganz anderen Verhältnissen von Klima und Umgebung pflegen, von seinen Erfahrungen und Ergebnissen Kunde geben möchte. Wenn Herausgeber und Schriftleiter sich veranlaßt fühlen, der jungen, rasch sich entwickelnden Luftfahrt eine Reihe von Schriften zu schenken, die ihre Randgebiete durchstreifen, so streben sie wohl dem Ziele nach, der jungen Schwester eine Perspektive für neue Wege zu öffnen, denen entlang dieselbe ihre Diener aussenden sollte. In den tropischen Ländern, die von Jahr zu Jahr an Bedeutung gewinnen, wird in der Zukunft die Luftfahrt ohne Zweifel eine große Rolle spielen; denn infolge der geringen Windgeschwindigkeiten, gleichmäßigen Temperaturen und ruhigen Morgenstunden liegen die Verhältnisse außerordentlich günstig für sie.

Der ostindische Archipel, wo im Jahre 1909 der leider seinen Idealen zum Opfer gefallene Marineleutnant Rambaldo die Luftfahrt einführte, besitzt in dieser Hinsicht eine sehr bevorzugte Lage. Zwar ist hier bis jetzt die Entwicklung der Luftfahrt zurückgeblieben, aber einige Fortschritte machen sich bereits bemerkbar, und es werden zweifellos Mittel und Wege gefunden werden, die sich den obwaltenden klimatischen und anderen Verhältnissen am besten anpassen.

Hier bietet sich deshalb ein fruchtbares Feld für die Anwendung der Grundidee dieser Schriftensammlung, nämlich der jüngeren Schwester neue Betätigungsmöglichkeiten zu eröffnen, besonders hier, wo bis jetzt so wenige Versuche vorgenommen und so wenige Wege besritten worden sind. Meine Arbeit soll deshalb einen Teil jener Aufgaben bilden, die ich mir im Jahre 1910 bei der Einführung der aerologischen Wissenschaft in Niederländisch-Ostindien vorgenommen hatte, nämlich durch die Erforschung der freien Atmosphäre die für die Luftfahrt notwendigen Daten zu sammeln.

Aus diesen Ansichten heraus war mühelos zu folgern, in welchem Geiste diese Schrift zu verfassen wäre, was sie wohl enthalten sollte und was nicht. Sie sollte, ohne geradezu populär, doch gemeinverständlich geschrieben sein, und ohne rein wissenschaftlich zu erscheinen, doch einen wissenschaftlichen Charakter tragen; sie sollte nicht eine erschöpfende Beschreibung des tropischen Luftozeans geben, sondern ein solches Bild von ihm malen, daß seine charakteristischen Züge hervorgehoben und verständlich werden. Es sollte erwähnt werden, mit welchen Mitteln die aerologische Forschung im malayischen Archipel unternommen worden ist, und welche Ergebnisse erhalten worden sind, damit teils der Luftfahrer Vorteil aus ihnen ziehen möge, teils von ihm Anregungen zu neuen Untersuchungen

gegeben werden möchten. Auch die Ergebnisse über Vorgänge in sehr hohen Luftschichten, die der Luftschiffer wohl nie erreichen wird, sollten nicht unerwähnt bleiben, damit es ihm klar würde, wie die Erscheinungen in den unteren Schichten in ursächlichem Zusammenhange stehen mit jenen in den sehr hohen Regionen. Auch sollte er eine Anregung finden, um mitzuarbeiten beim Sammeln von wissenschaftlichen Kenntnissen über sein luftiges Element, und zwar mit der Überzeugung, daß diese Kenntnis eine nützliche Rückwirkung auf seinen praktischen Betrieb ausüben wird.

Aus den beiden oben angeführten Jahreszahlen folgt, wie kurz erst unsere Arbeitsfrist ist und wie demzufolge unsere Erfahrungen noch nicht stichhaltig sein können. Es geschah daher auch nicht ohne Zaudern, daß ich mich entschloß, dem Wunsche der Schriftleitung Folge zu leisten.

Ein glücklicher Umstand war jedoch, daß es meinen Mitarbeitern und mir möglich war, vor Anfang der Arbeit Herrn Geh. Regierungsrat Assmann in Lindenberg und Herrn Geh. Regierungsrat Hergesell in Straßburg zu besuchen. Für die guten Ratschläge, Anregungen und Hilfe, welche wir von diesen beiden hervorragenden Forschern erhielten, sei an dieser Stelle mein aufrichtiger Dank ausgesprochen.

Batavia, November 1912.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	V
Beobachtungsmittel und Beobachtungen:	
Pilotballone	1
Registrierballone	7
Eichung der Registrierinstrumente	12
Drachen	13
Fesselballone	15
Freiballon „Batavia“	16
Anemometer	18
Bergstationen	20
Wolkentheodolite	21
Ergebnisse:	
Wind	23
Relative Richtungsgeschwindigkeit	25
Tägliche Schwankung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen	34
Land- und Seebrise	37
Temperatur	39
Wolkenbildung	44

Beobachtungsmittel und Beobachtungen.

Pilotballone.

Im Monat Juli des Jahres 1909 begannen am Observatorium die ersten Versuche, die jedoch sehr bescheiden ausfielen, da nur kleine Pilotballone von 20 g Gewicht zu den Aufstiegen verwendet und durchschnittlich nur bis 1000 oder 2000 m visiert wurden, ausgenommen in einem Falle, wo die Visierung bis zur Höhe von 5500 m gelang. Bald darauf jedoch, im September 1909, wurde weiland Marineleutnant Rambaldo, der mit einer Drachen- und Ballonausrüstung an Bord I. M. Panzerschiff „de Ruyter“ via Westindien auf Java ankam, nach dem Observatorium abkommandiert, und nun kamen die von ihm mitgebrachten Paturellballone im Gewicht von ca. 44 g zur Anwendung. Dies führte sofort zu besseren Resultaten. Denn oft gelang die Visierung bis 10 000 m und höher, besonders, weil die meist geringen Windgeschwindigkeiten es gestatteten, diesen Ballonen eine kleinere Aufstiegs geschwindigkeit zu erteilen, als dies in Europa üblich ist.

Als ich Ende März 1910 nach Java zurückkehrte, machte sich alsbald der Wunsch bei mir rege, die Visierung bis zu größeren Höhen durchzuführen, und als ich demgemäß am 10. Mai 1910 einen 1,5 kg schweren Ballon als Pilot hochließ, stellte ich fest, daß in einer Höhe von 17 km der merkwürdige Westwind zum Vorschein kam, welcher zwei Jahre vorher zuerst von Berson am Äquator beobachtet worden war, und für dessen Vorkommen in den äquatornahen Breiten man noch keine Erklärung hatte.

Um die Beobachtung der über 10 km hohen Winde zu fördern, entschloß ich mich, die Aufstiege der Registrierballone nur bei heiterem Himmel vorzunehmen, und tatsächlich wurde dadurch im Jahre 1910 ein ziemlich reichhaltiges Material von Windbestimmungen zwischen 10 und 19 km erhalten. Die hierbei erzielten Resultate über das Windsystem in größeren Höhen waren aber dermaßen interessant, daß der Entschluß zu intensiverem Vorgehen gefaßt wurde.

In der Regenzeit 1911—1912 fanden deshalb Aufstiege von 0,5 kg schweren Pilotballonen statt, die zwar einige Male bis zu Höhen von mehr als 20 000 m gelangten, aber aufs neue den Wunsch rege machten, das Beobachtungsmaterial für Höhen oberhalb 20 000 m tunlichst zu vermehren, und zur Bestellung von 20 Piloten von 1,5 kg Gewicht führten.

Mit den zuerst erhaltenen Ballonen dieser Art hatte ich im April 1912 guten Erfolg; denn ich sah zwei davon in 27 000 und 25 000 m Höhe zerplatzen. Jedoch bereitete mir die zweite Sendung manche Enttäuschung, da immer nach ca. 50 Minuten gerade oberhalb oder auch unterhalb der oberen Grenze des Antipassates in ca. 17 000 m Höhe ein frühzeitiges Platzen erfolgte. Einige dieser Ballone waren offensichtlich von schlechter Qualität; aber auch diejenigen, welche ein tadelloses Aussehen zeigten, platzten zu früh.

Um die trockene Jahreszeit 1912 nicht erfolglos zu Ende gehen zu lassen, wurden telegraphisch fünf 2 kg schwere Ballone bestellt, und zwei davon lohnten reichlich Mühe und Kosten, da sie über 27 000 bzw. 30 000 m stiegen und neue Ergebnisse ans Tageslicht brachten.

Sie bewiesen aber auch, daß eine einigermaßen erschöpfende Durchforschung des tropischen Luftozeans bis zu diesen großen Höhen ausgedehnt werden müsse, und daß man nicht mit weniger als 2 kg wiegenden Ballonen die Aufstiege machen sollte, wodurch zwar die Kosten stark gesteigert, aber auch Resultate erworben werden, die diesen Kosten entsprechen. Größere Ballone stehen insofern hinter kleineren zurück, als die Wahrscheinlichkeit einer schwachen Stelle in der Hülle proportional zur Oberfläche zunimmt; eine einzige Stelle, die nachgibt, genügt, um dem Aufstieg ein Ende zu bereiten; der Ballon ist wie eine Kette, die nicht stärker ist als ihr schwächstes Glied.

Wir befließigten uns darum immer mehr, die Hülle aufs genaueste nach Löchern, bedenklichen Falten und schwachen Stellen abzusuchen, und taten dies in der letzten Zeit an dem dem Aufstiege vorhergehenden Tage bei Luftfüllung.

Bekanntlich verschlechtert sich die Qualität des Gummis mit der Zeit sehr rasch, und besonders in den Tropen sind die Erfahrungen in dieser Beziehung sehr ungünstig. Da mir von sachverständiger Seite mitgeteilt wurde, daß wahrscheinlich Oxydation an der Luft die Hauptursache dieses Übels sei, lag der Gedanke nahe, zu versuchen, ob nicht unter diesen Umständen eine Aufbewahrung in einer indifferenten Gasatmosphäre, z. B. CO_2 , das beste Mittel wäre, um dieser Materialverschlechterung entgegenzutreten. Die Verwirklichung dieses Gedankens war einfach genug, aber ob tatsächlich eine Besserung erreicht ist, bleibe dahingestellt, da die Erfahrung noch von zu kurzer Dauer ist.

Die Farbe der Ballone ist eine wichtige Frage. Wird der Hintergrund von weißen Wolken gebildet, so ist eine dunkelrote Farbe am wirksamsten, während gegen den blauen Himmel und besonders hinter Cirren ein farbloser, helleuchtender Ballon viel besser sichtbar ist. Logischerweise sollte man den Ballon zur Hälfte rot färben, zur anderen Hälfte farblos lassen, wobei am besten ein Ballonmeridian als Trennungslinie benutzt wird.

Die Gasfüllung geschah im Anfang mittels Kalziumhydrürs, das in einem der bekannten Generatoren erzeugt wurde; später wurden hierfür sogar zwei Generatoren verwendet. Bald entschloß ich mich aber zum Gebrauch von Stahlflaschen. Zwar ist das Hin- und Zurückschicken der Flaschen zwischen Europa und Java kostspielig und umständlich; jedoch werden die Kosten, die durch den hohen Preis der Kalziumhydrüre bedingt sind, dabei nicht erreicht. Außerdem gestatten die Flaschen eine rasche Füllung, und gerade dies ist in Batavia von größter Wichtigkeit, hat uns doch die Erfahrung gelehrt, daß nur morgens während einiger Stunden auf andauernd unbewölkten Himmel gerechnet werden darf, und wenn man ungeachtet bedeutender Kosten große Ballone aufläßt, um Höhen von mehr als 20 km zu erreichen, so muß man, jedenfalls was das Wetter anbetrifft, auf Erfolg fest rechnen können. Eine kleine Wolke genügt schon, um diesen Erfolg so zu verringern, daß ein Ballon von nur 40 g gleich viel hätte leisten können.

In Batavia bieten nun die Stunden zwischen 7 und 10 Uhr a. m. eine einigermaßen genügende Gewähr für ein gutes Gelingen der Aufstiege. Bei Sonnenaufgang leuchten an heiteren Tagen infolge der seitlichen Beleuchtung die Cirren sehr stark, auch treiben gelegentlich Ci-Cu und A-Cu am Himmel; aber eine halbe Stunde später kann man (besonders in der Trockenzeit) beurteilen, ob diese Ci genügend transparent sind und ob die A-Cu und Ci-Cu sich vermehren oder auflösen werden. Um diese Zeit (halb sieben Uhr) kann der Aufstieg beschlossen werden. Nur eine halbe Stunde später ist dann durch Benutzung von Fernsprecher und Fahrrad die zweite Station besetzt (alle größeren Ballone müssen von zwei Stationen aus visiert werden). Der Aufstieg kann nun mit der sehr großen Wahrscheinlichkeit erfolgen, daß der Himmel bis 9 Uhr heiter bleiben wird, jedenfalls in der Trockenzeit. In der Regenzeit besteht aber die stets drohende Gefahr der A-Cu-Bildung; denn dieses dünne Gewölk entsteht leicht an der oberen Grenze des westlichen Monsunstromes in ca. 5000 m Höhe und ist nicht durchsichtig wie die Cirren.

Für die Visierungen standen bis jetzt zwei Theodolite zur Verfügung, der bekannte nach de Quervain (verfertigt von Bosch) und ein kleinerer von Bunge, bei welchem die Anwendung von 3 Prismen für das gebrochene Fernrohr ein kleineres Format des Instrumentes gestattet. Auch ein dritter, jüngst von Bosch gelieferter Theodolit hat das kürzere Fernrohr mit 3 Prismen, doch steht infolgedessen die Randschärfe im Gesichtsfelde derjenigen des älteren Instrumentes nach, was keineswegs förderlich ist für das Wiederfinden von Ballonen, die aus dem Gesichtsfelde verschwunden sind.

Ich will noch hervorheben, daß den durch die Neigung der horizontalen Achse und der Kollimation bedingten Fehlern die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Bei dem neu erhaltenen Bosch-Theodoliten war z. B. diese Neigung nicht weniger als $20'$, und bei einem derartigen Neigungsfehler beträgt die Azimutal-Korrektur in 80° Höhe mehr als ein Grad. Bei Doppelvisierungen bedingt der Winkel: Station A-Ballon-Station B die Entfernung und damit die Höhe des Ballons, und er sank bei unseren Visierungen gelegentlich unter 3° . Fehler von einem Grade hätten deshalb die Höhenbestimmungen ganz illusorisch gemacht.

Die schwachen und in verschiedenen Höhen einander oft entgegengesetzten Winde gestatten es in Batavia, den Pilotballonen eine nur geringe Steiggeschwindigkeit zu erteilen und demzufolge die mittlere Zerplatzhöhe hoch zu halten. So wurde den 44 g schweren Ballonen eine Steigkraft von nur 102 g gegeben, wodurch

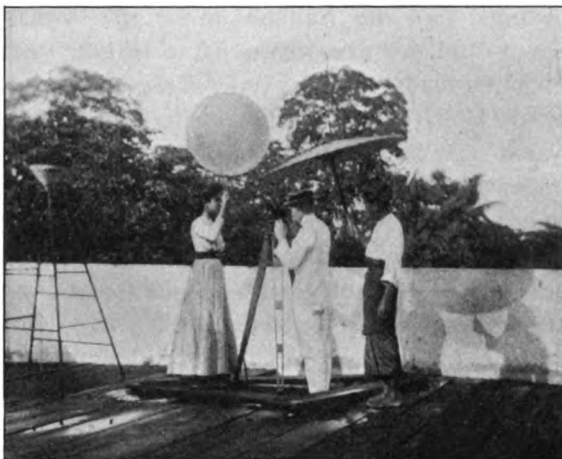


Fig. 1. Pilotballon-Visierung vom Dache des Windhauses am Observatorium.

sie sich mit einer Geschwindigkeit von 167 m pro Minute oder 2,8 m pro Sekunde erhoben. Selbst die größeren Ballone von 1,5 und 2 kg Gewicht erhielten nicht mehr als ca. 1000 g Steigkraft, womit eine Anfangsgeschwindigkeit zwischen 200 und 300 m pro Minute erreicht wurde.

Besonders während der Zeiten des „Kenterns des Monsuns“ — das sind die zwischen den Monsunen liegenden Zeiträume — befindet sich die Atmosphäre oft bis zu großen Höhen über 10 km in merkwürdiger Ruhe, so daß man sich alsdann kleine Steigggeschwindigkeiten ruhig erlauben kann; auch vergrößert sich die Steigggeschwindigkeit in größeren Höhen, wo dann gerade auch die größeren Windgeschwindigkeiten vorherrschen. Der Nachteil einer kleinen Steigggeschwindigkeit besteht in der längeren Dauer des Aufstieges, welche bedingt, daß die Ballone länger den verderblichen ultravioletten Strahlen der Sonne und der exzessiven Kälte in den Hochregionen ausgesetzt werden.

Anscheinend hat die Kälte wenig Einfluß; denn die bei Tage aufgelassenen Ballone erreichen durchschnittlich keine größeren Höhen als die bei Nacht aufsteigenden, während doch am Tage die Sonne die Hülle bedeutend erwärmen muß. Diese Erwärmung, welche selbstverständlich auch das Füllgas auf einer viel höheren Temperatur als die der umgebenden atmosphärischen Luft hält, läßt sich deutlich an den beobachteten Steigggeschwindigkeiten nachweisen. Bekanntlich wächst die Steigggeschwindigkeit eines elastischen Ballons umgekehrt proportional zur sechsten Potenz der Dichte ρ der ihn umgebenden Atmosphäre, jedoch nur, wenn man die Spannung der Hülle vernachlässigt. Ist nämlich der Gasdruck innerhalb der Ballons $(i + \epsilon)$ mal größer als außerhalb, so ist die Steigggeschwindigkeit

$$v = \frac{\text{Konstante}}{(i + \epsilon)^4 \cdot \rho^6}.$$

Der Innendruck verringert deshalb die Steigggeschwindigkeit; aber der Einfluß wird nur bedeutend, wenn in sehr großen Höhen der Außendruck stark sinkt. So ist in einer Höhe von 30 000 m der Außendruck nur ca. 5 mm Hg, wodurch bei einem Innendruck von 2 mm Hg die Steigggeschwindigkeit eine Verminderung von 17% erfährt.

Am 12. September 1912 erreichte ein Pilotballon diese große Höhe, und es ist sehr lehrreich, die beobachteten Steigggeschwindigkeiten zu vergleichen mit den nach der Formel $v = \frac{C}{\rho^6}$ berechneten.

Die für die Bestimmung der Luftdichten erforderliche Kenntnis der Temperaturen in den verschiedenen Höhen läßt sich mit genügender Genauigkeit aus den mittleren Ergebnissen der Registrierballonaufstiege herleiten, unter der Voraussetzung jedoch, daß die Temperatur oberhalb 17 km nur wenig um -80°C hin- und herschwankt.

Aus den Differenzen geht deutlich hervor, daß die Temperatur des Ballongases höher ist als die der Außenluft; aber von dem Einflusse eines etwaigen Überdruckes reden sie nicht. Daß der Druck jedoch nicht ganz aufgehoben war, lehrte mich die Wucht, mit der ich den Ballon zerplatzen sah.

Steiggeschwindigkeit des Piloten vom 12. September 1912.

Höhe m	Steiggeschwindigkeit in Meter pro Minute		Differenz
	beobachtet	berechnet	
3 900	254	254	0
6 340	360	264	96
10 000	373	283	90
13 750	377	305	72
17 600	393	336	57
21 530	394	376	18
25 930	484	433	51
29 590	545	483	62

Auffallend ist in obiger Differenzenreihe der plötzliche Abfall beim Überschreiten des Niveaus von ca. 18 000 m; und daß hier nicht von einer zufälligen Erscheinung die Rede ist, geht aus untenstehender Reihe hervor, welche die mittleren Geschwindigkeiten angibt, die bei 15 Aufstiegen von 1,5 kg-Ballonen, die neuerdings unter gleichen Umständen aufgelassen worden sind, beobachtet wurden:

Mittlere Steiggeschwindigkeit einiger 1,5 kg schweren Piloten.

Höhe m	Steiggeschwindigkeit in Meter pro Minute		Differenz	Zahl der Aufstiege
	beobachtet	berechnet		
0— 2 600	264	264	0	15
2 600— 5 700	302	275	27	15
5 700— 8 900	319	293	26	15
8 900—12 300	347	311	36	15
12 300—16 500	413	337	76	13
16 500—20 100	365	373	-8	7

Die plötzliche Abnahme oberhalb von 16,5 km ist hier noch größer als vorhin, und das Zusammenfallen dieses Höhenniveaus mit jenem der unteren Grenze der isothermen Stratosphäre macht folgende Erklärung naheliegend: Der Ballon, mit ziemlich großer Geschwindigkeit steigend, kommt in immer kältere Schichten, und die Temperatur des Füllgases hinkt trotz der starken Ventilation jener der umgebenden Luft nach, und zwar dies um so mehr, je größer der Ballon ist. Die tatsächliche Dichte des Füllgases ist folglich kleiner als die berechnete und deshalb die Steigkraft größer. Kommt nun der Ballon in die isotherme Schicht, so verschwindet allmählich das Nachhinken und die Temperaturen von Füllgas und umgebender Luft stimmen wieder miteinander überein.

Die Insolation scheint in den größten Höhen, wo die Ventilation bei der geringen Luftdichte stark abgenommen hat, die Temperatur des Gases wieder zu erhöhen; am 12. September sah ich wenigstens oberhalb 20 000 m die Geschwindigkeit aufs neue stärker, als die Formel angibt, anwachsen.

Bis zur Mitte des Jahres 1912 wurden weitaus die meisten Ballonaufstiege in den Morgenstunden vorgenommen, man blieb deshalb im unklaren über die Schwankungen der Windrichtung und -geschwindigkeit zu anderen Tageszeiten.

Die Möglichkeit nächtlicher Visierungen war schon von Kapt. C. H. Ley bewiesen worden durch seine Ausführungen im *Quarterly Journal of the R. Meteor. Society* 1909, pag. 15. Ley füllte einen Piloten mit Azetylen, versah ihn mit einem Gasbrenner und erhielt damit einen sehr leichten, beim Brennen sogar noch leichter werdenden Gasbehälter. Zwei solcher Piloten, 10 m vertikal voneinander entfernt, ließ er von einem größeren, mit Wasserstoff gefüllten emporheben und bestimmte bei der Visierung jedesmal mit dem Mikrometer die Winkelentfernung der beiden Azetylenflammen.

Diese Beobachtung scheint mir äußerst schwierig infolge der Bewegung des ganzen Systems; sie wird schließlich bei wachsender Entfernung infolge der allmählichen Lichtabschwächung ganz unmöglich. Auch steigt das System nicht immer senkrecht, sondern sehr oft unter größerer oder kleinerer Neigung, oder pendelt stark.

Als ich deshalb diese Leuchtballone in Gebrauch nahm, wandte ich stets nur Doppelvisierungen an, trotzdem die Beobachtungen dann jedesmal vier Europäer beanspruchten. Von einer Hilfeleistung durch Javaner zum Ablesen der Kreise, wie sie sonst oft benutzt wurde, mußte hier abgesehen werden, da es sich bei den Vorübungen bald herausstellte, daß sie dem raschen Ablesen und Notieren, was in der Dunkelheit bei einer Beleuchtung von kleinen Beobachtungslaternen stattfinden mußte, nicht gewachsen waren.

Trotz der Personalschwierigkeiten haben 18 Nachtaufstiege stattgefunden, von denen nur zwei fehlschlagen, einer, als nach drei Minuten der Leuchtballon mit großer Flamme platzte, ein zweiter, als nach einigen Minuten die Flamme auslöschte.

Gewöhnliche kleine Kinderballone aus dem Laden, welche mit Brenner nur ca. 30 g wogen, zeigten sich gut tauglich; wir gaben bei ihrer Benutzung dem tragenden Paturelballon (44 g Gewicht) einen Auftrieb von 120 g. Auch diese 44-g-Ballone selbst wurden als Leuchtballone benutzt, und da sie mit Brenner ca. 70 g wogen, wurde der Auftrieb des Tragballons auf 150 g gesteigert.

Die Bewegung des als rasche Wandersterne zwischen den Gestirnen hindurcheilenden Ballonlichtes war wunderbar zu beobachten und hob schließlich das ganz schwache Sternchen so stark hervor, daß bei temporärem Verschwinden hinter Gewölk das Wiederauffinden leicht möglich war.

Bei heiterem Himmel verschwand das Licht in rund 6000 m Höhe; aber leider blieb der Himmel selten heiter, da die Bewölkungsverhältnisse am Abend den Beobachtungen weniger günstig sind als am Morgen.

Ich will noch erwähnen, daß eine Minute vor dem Auflassen des Systems der zweite Beobachter, welcher nicht mit dem Fernsprecher verbunden war, mittels einer Rakete benachrichtigt wurde.

Bei den Doppelvisierungen hat zwar in den meisten Fällen der eine Beobachter seinen Theodoliten auf dem flachen Dache des höchsten der Observatoriumgebäude (siehe Bild auf S. 3) aufgestellt, aber für die anderen Beobachtungsstellen sind aus praktischen und besonderen Gründen mehrere Punkte, die in nebenstehendem Stadtplan angegeben sind, gewählt worden.

Kleine Piloten sind von der Basis O — K_E (900 m), O — K_P (1506 m), O — K_{NW} (1860 m) und K_S — K_{NW} (908 m) beobachtet worden; große von O — T (1540 m),

O — A (4460 m), O — MC (4120 m) und bei Zeitmangel oder aus anderen Gründen von O — K_{NW} .

Für die rasche Berechnung und Konstruktion der Flugbahnen sind bereits viele Methoden und Hilfsmittel angegeben worden, und ein jeder, der sich oft mit dieser Arbeit zu beschäftigen hat, wird sich allmählich selbst ein bequemes Verfahren ausgedacht haben.

Ich habe mir eine Tabelle berechnen lassen, welche die Werte von $n \operatorname{ctg} h$ (n = die Zahl der Minuten oder anderen Zeiteinheiten, h = die Winkelhöhe) angibt für $n = 1$ bis 90, und $h = 15^\circ$ bis 90° . Die Werte von h schreiten bis 24° nach Zehntelgraden vorwärts, weiter bis 45° nach Zweizehntelgraden, von da bis 75° nach halben Graden und für den letzten Teil bis 90° nach ganzen Graden. Das Konstruieren der Flugbahn erfolgt rasch und bequem mittels eines durchsichtigen, in halbe Grade geteilten Halbkreises, an welchem ein 60 cm langes, in Millimeter geteiltes Lineal befestigt ist, und welcher in seinem Mittelpunkt eine Spitze trägt, um welche er drehbar ist.

Was weiter die Doppelvisierungen anbetrifft, so stand leider keine genügende Arbeitskraft zur Verfügung, um aus jeder Doppelbeobachtung die Höhe abzuleiten, und ich begnügte mich damit, jede zehnte Beobachtung zu berechnen, bei rascher Änderung der Steiggeschwindigkeit jedoch jede fünfte und in fraglichen Fällen auch dazwischenliegende Visierungen. Da Beobachtungsfehler ohnedies dazu zwingen, mittlere Steiggeschwindigkeiten abzuleiten, so büßt man auf diese Weise nur wenig von der erreichten Genauigkeit ein.

Für jede Zeitspanne mit konstanter Steiggeschwindigkeit wurde nun der betreffende Teil der Flugbahn konstruiert. Hatte sich z. B. der Ballon von der zwanzigsten bis zur dreißigsten Minute von 5000 bis 8000 m Höhe erhoben, und war er folglich mit der Geschwindigkeit von 300 m pro Minute gestiegen, so wurde auf der Tabelle nicht die Reihe bei $n = 20$, sondern diejenige bei $n = \frac{5000}{300} = 16,77$, also rund bei $n = 17$ eingesehen.

Registrierballone.

Als ich im Jahre 1909 während meines Urlaubs in Europa die Einführung der Aerologie am Observatorium zu Batavia vorbereitete, da war es für mich noch eine offene Frage, ob das übliche Verfahren mit den Registrierballonen lohnende Resultate auf Java zeigen würde. Ich konnte zwar, was das Zurückbringen der

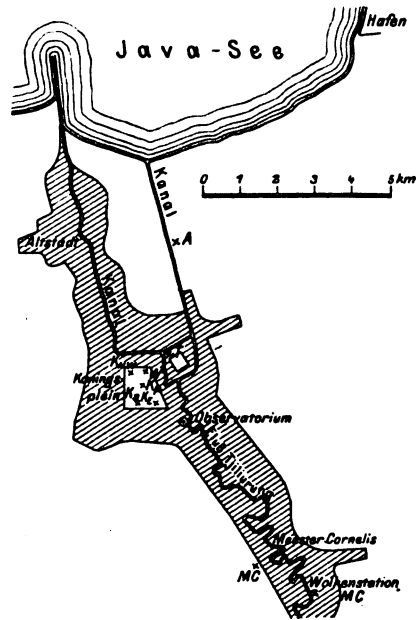


Fig. 2. Lage der Ballonvisierung-Stationen.

gefundenen Instrumente angeht, der Bevölkerung mein Vertrauen schenken; aber die dichten Wälder und das nahe Meer boten wenig Aussicht auf ein Wiederfinden überhaupt. Begreiflich ist es darum, daß Dr. Braak, mein damaliger Stellvertreter, jetzt Unterdirektor des Observatoriums, die ersten Tandems von einem 25 km südlich vom Observatorium gelegenen Orte aus emporschickte. Die Schwierigkeiten waren aber dabei so groß, daß ich meinte, mich auf den glücklichen Umstand verlassen zu können, daß die Küste dem Hauptsystem der Luftströmungen parallel läuft. Ich nahm deshalb die weiteren Aufstiege vom Observatorium selbst aus vor.

Der hohe Prozentsatz zurückgebrachter Instrumente (ca. 80%) hat jetzt wohl auch bewiesen, daß ich mit meinem Vertrauen recht hatte.

Bei den Aufstiegen in Batavia wurde immer die Fallschirmmethode angewendet, da hierbei eine große Ersparnis an Ballonmaterial und Wasserstoff erreicht wird, was ja in unserem weltentlegenen Wohnorte von doppelter Bedeutung ist. Bei Benutzung zweier Ballone hat man immer etwas größere Wahrscheinlichkeit, daß einer der beiden von schlechterer Qualität ist und den Aufstieg vereitelt. Ein weißer Fallschirm hebt sich auch auf der grünen Landschaft besser ab als ein zusammengeschrumpfter Ballon, was dem Auffinden sehr zustatten kommt.

Die Erfahrung hat aber auch gelehrt, daß Ballone von 1,5 kg mit Fallschirm, wenn sie nicht von besonders guter Qualität sind, meist unterhalb 17 km platzen und folglich die untere Grenze der Stratosphäre nicht erreichen, was aber eben als Minimumleistung gefordert werden soll. In der Zukunft werden deshalb nur Ballone von 1,5 kg in Tandemsystem und solche von 2 kg mit Fallschirm benutzt werden.

Der in Batavia gebräuchliche Fallschirm hat einen Durchmesser von 160 cm, ist im Zentrum offen und wiegt, da nur vier Rottannrippen den Stoff halten, nicht mehr als 350 g.

Die Fallgeschwindigkeit wurde zuerst bei einem größeren Exemplar experimentell bestimmt, wozu eine Fahrt des bemannten Ballons „Batavia“ Gelegenheit bot. Mit einem 1 kg schweren Steine belastet, wurde der Schirm von 1500 m Höhe aus dem Korbe geworfen und die Fallzeit direkt beobachtet. Der benutzte Schirm hätte ohne Gefahr für die Instrumente kleiner gewählt werden können; jedoch ist rasches Fallen in der Nähe der Erdoberfläche nicht erwünscht, da die Wahrscheinlichkeit, daß das Instrument bei seinem Fall von Eingeborenen bemerkt wird, geringer wird.

Der Schirm wurde fast immer unterhalb des Ballons angebracht, nicht oben aufliegend, da bei dieser letzten Lage die Gefahr besteht, daß die Fetzen des zerplatzten Ballons zwischen den Schnüren des Schirmes hängen bleiben.

Die Aufhängevorrichtung des Fallschirmes unterhalb des Ballons, die ein Sichlosmachen des geplatzten Ballons bei Anwendung von Haken und Ösen ermöglichte, funktionierte immer gut, falls der Ballon platzte, wie das öfter im Jahre 1910, als die Aufstiege meist bei heiterem Himmel stattfanden, durchs Fernrohr deutlich zu verfolgen war.

Wie ich schon zu bemerken Gelegenheit nahm, rechtfertigte die Bevölkerung das in sie gesetzte Vertrauen; die gefundenen Instrumente wurden recht brav an

die Dorfhäupter abgeliefert. Nur einige Male kam es vor, daß das Instrument zwar zurückgebracht wurde, aber nach bekannter Erfahrung aus lauter Neugier geöffnet und das Rußdiagramm ausgewischt war. Nachdem wir den Schutzkasten des Registrierzylinders durch eine eiserne Kette mit Schloß gesichert haben, scheint die Neugierde nachgelassen zu haben. In dieser geschlossenen Kette sieht der anal-

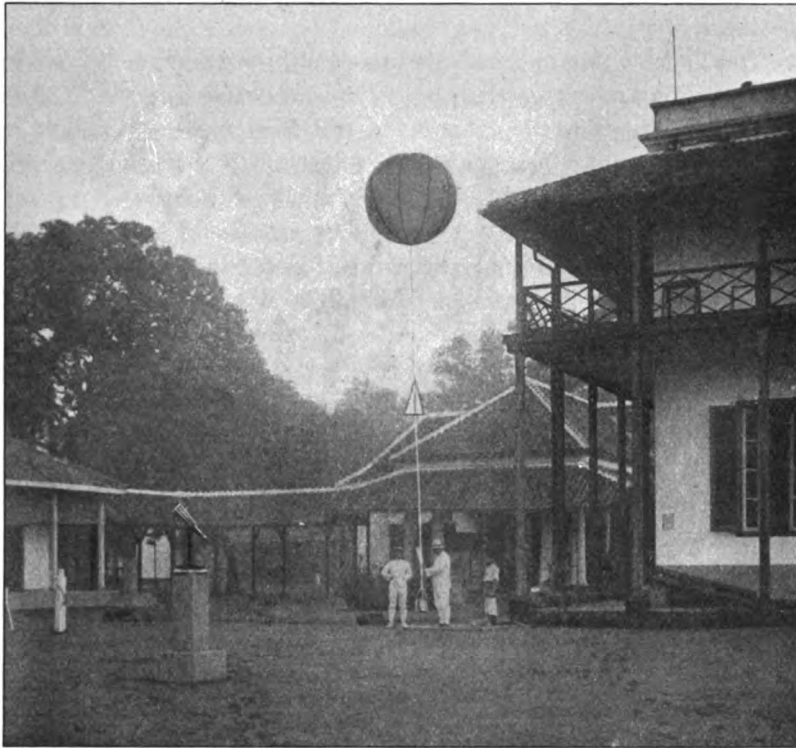


Fig. 3. Unterdirektor Braak und Marineleutnant Rambaldo beim Registrierballon-Aufstieg.

phabete Eingeborene deutlich das Verbot gegen das Öffnen; selbstverständlich gibt dem Lesekundigen die in zwei Sprachen, Malayisch und Javanisch, verfaßte Anweisung weiteren Bescheid.

Der Finderlohn beträgt jetzt fünf Gulden, und dieser Umstand scheint sich schon allgemeinen Bekanntseins zu erfreuen, denn wiederholt werden geplatzte Ballone, die keine Adresse trugen, dem Observatorium zugesandt; die Finder werden alsdann nur mit zwei Gulden belohnt.

In den Jahren 1910 und 1911, als die Aufstiege nur bei heiterem Himmel vorgenommen und an zwei Basisstationen Visierungen angestellt wurden, war es oft möglich, den Fallschirm nebst Instrument bis nahe zum Erdboden mit dem Fernrohre zu verfolgen. Der Fallpunkt wurde alsdann so genau wie möglich durch Extrapolation bestimmt, und sobald keine Nachricht vom Auffinden des Instrumentes eintraf, machte sich eine kleine Expedition zum Nachsuchen auf. Tatsächlich ist ein paarmal auf diese Weise ein Instrument wiedergefunden worden. Ein anderes Mal jedoch zerplatzte der Ballon fast senkrecht über dem zweiten Beobachtungsort,

trotzdem er die bedeutende Höhe von 18 000 m erreicht hatte; denn so schwach und von solch wechselnder Richtung waren bis zu dieser Höhe die Winde. Der Fallschirm trieb selbstverständlich beim Abstiege auch nur wenig ab und erreichte den Boden in vielleicht 2 km Entfernung von der Stadt; nichtsdestoweniger war alles Suchen vergeblich. Daran war hauptsächlich das schwierige Gelände Schuld, das aus miteinander abwechselnden offenen Grundstücken, Teichen und dichten Wäldern bestand.

In der Trockenzeit, wenn die östlichen Winde vorherrschen, werden die Instrumente und Ballone meist westlich bis südwestlich von Batavia in Entfernungen von 40—80 km aufgefunden; dagegen ist in der Regenzeit, in welcher bis 5000 m und höher Westwind weht, die Lage der Fundörter sehr verschieden voneinander, und viele Instrumente wurden leider nicht zurückgebracht.

Während der Übergangszeit ist es besonders auffallend, wie wenig die Ballone abtreiben; so möchte ich nicht unterlassen, auf den freien Aufstieg eines unserer Fesselballone von 30 m³ hinzuweisen. Nachdem dieser absichtlich freigelassene Ballon 6000 m Höhe erreicht hatte, senkte er sich wieder abwärts und fiel in 500 m Entfernung von der Stelle nieder, von der er aufgelassen worden war.

Die großen Vorteile, welche Tagesaufstiege bei heiterem Himmel mit sich brachten, wogen schließlich den Nachteil nicht auf, der darin besteht, daß in den größeren Höhen, da, wo die untere Grenze der Stratosphäre erreicht wird, die Ventilation unter das erforderliche Maß sinkt und deshalb in der Höhe, wo infolge der Bestrahlung durch die Sonne die Bestimmung dieser Untergrenze ungenau wird, auch gerade das Auftreten dieses schädlichen Einflusses zu erwarten ist. Man kann zwar die Aufstiegsgeschwindigkeit steigern; es ist dies jedoch nicht vorteilhaft, wenn große Höhen erreicht werden sollen, um so mehr, weil auch das Nachhinken der registrierten Temperatur und Feuchtigkeit vergrößert wird. Selbst bei einer Steiggeschwindigkeit von nur 5 m pro Sekunde sinkt die Ventilation schon bei 12 000 m Höhe unter den erforderlichen Wert von 1,0, und dieses Niveau muß der Ballon noch um 5000 m überschreiten, bevor er die Stratosphäre erreicht.

Ich entschloß mich darum zu nächtlichen Aufstiegen und wählte dazu die letzten Stunden der Nacht vor Sonnenaufgang, weil dann das Instrument bei Tageslicht zur Erde fällt und die Wahrscheinlichkeit besteht, daß es beim Herunterkommen von den Eingeborenen bemerkt wird. Auch fiel ins Gewicht, daß am frühen Morgen das Wetter meist günstig ist, während vor Sonnenuntergang oft Böen den Aufstieg stören würden; immerhin will ich aber zukünftig gerade zu jenen Stunden Aufstiege zwecks Erweiterung der Untersuchungen vornehmen.

Bei den Aufstiegen frühmorgens war natürlich Visierung ausgeschlossen, und folglich konnten sie auch an den von der Internationalen Kommission für wissenschaftliche Luftschiffahrt festgesetzten Tagen vorgenommen werden, wenn auch der Vorteil dieser Gleichzeitigkeit bei der abgesonderten Lage von Batavia vorläufig illusorisch zu nennen ist.

Die Ergebnisse sind sehr beeinträchtigt worden durch ein Übel, das auch Anderen zu mancher Klage Anlaß gegeben hat; die Uhren der Registrierapparate wollen nämlich bei der intensiven Kälte in den größeren Höhen nicht mehr gehen. Jetzt werden unsere Uhren in Straßburg sorgfältig repariert, wodurch das Übel

in vielen, aber leider nicht allen Fällen beseitigt zu sein scheint. Bevor mir aber ungenügende Repassierung als die Ursache bekannt war, habe ich mir durch folgenden Kniff geholfen. Es war bekannt, daß die durch Kälte arretierten Uhren durch Erschütterungen wieder in Gang gesetzt werden können, was folglich einen Hinweis bedeutete, künstliche Erschütterungen hervorzurufen. Da mir nun bei den Visierungen aufgefallen war, wie das System Ballon—Fallschirm—Instrument bei seiner Länge von ca. 30 m fast immer sich in pendelnder Bewegung befand, lag es auf der Hand, diese Bewegung für die Erzeugung von Erschütterungen zu benutzen und einen Stein auf solche Weise zu befestigen, daß er von Zeit zu Zeit den Instrumentenkorb treffen mußte. Hierzu war es aber erforderlich, daß dieser Stein eine Schwingungszeit hatte, die größer war als jene des Systems Ballon—Schirm—Instrument. Letzteres war sehr einfach dadurch zu erreichen, daß unter jenem Steine an einer genügend langen Schnur ein zweiter befestigt wurde. Bei dieser Anordnung, welche durch nebenstehende Skizze dem Leser deutlich werden dürfte, ist die Schwingungszeit des Steinsystems größer als die des Ballonsystems, was Umkehrung der Phase zur Folge hat. Dadurch werden Stein und Korb in entgegengesetzter Richtung schwingen, so daß die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes sehr groß ist. Das Gewicht der benutzten gewöhnlichen Steine betrug ca. 100 g.

Dieses Hilfsmittel ist allerdings ziemlich roh und nur als Notbehelf zu betrachten; doch hat schließlich Niemand etwas besseres erdacht. Ein kleiner Vorteil besteht noch darin, daß durch die Stöße ev. noch vorhandene Reibungswiderstände bei den Federn aufgehoben werden.

Es wurden ausschließlich die bekannten Registrierapparate von Bosch in Straßburg benutzt, und zwar waren fast alle mit dem Lamellenthermographen nach Teisserenc de Bort ausgestattet, nur wenige besaßen den Rohrthermographen nach Hergesell.

Bei den Aufstiegen im Jahre 1910 war es auffallend, dass der Rohrthermograph um einige Grade tiefere Temperaturen als der Lamellenthermograph aufzeichnete, während sich bei einigen der neueren Aufstiege gerade das Gegenteil ergab.

In einigen Fällen zeigte die von dem Rohrthermographen registrierte Kurve recht viele kleine Zacken, wohingegen die Linie des Lamellenapparates glatt war, während wieder in anderen Teilen derselben Kurve kleine Unregelmäßigkeiten in der Temperaturveränderung von beiden Thermographen aufgezeichnet wurden,

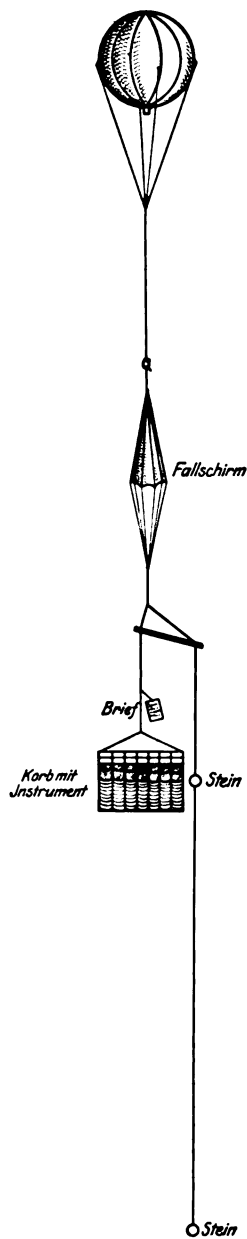


Fig. 4. Registrierballon mit Erschütterungsvorrichtung.

so daß man geneigt ist, in jenen Fällen gegen den Rohrthermographen Mißtrauen zu hegen. Da der Mechanismus des ersteren so viel einfacher ist als die äußerst subtile Übertragung des letzteren, ist es nicht unwahrscheinlich, daß dieser Mechanismus leicht gestört wird.

Eichung der Registrierinstrumente.

Bei der Bearbeitung der von den ersten Aufstiegen erhaltenen Diagramme wurden für die Ableitung des Luftdruckes aus den abgelesenen Ordinaten der Barographenkurve die in Straßburg nach der Theorie von Hergesell und Kleinschmidt aufgestellten Korrektionsformeln benutzt. Als aber in einigen Fällen bei kleinen Drucken und sehr tiefen Temperaturen Korrekturen herauskamen,

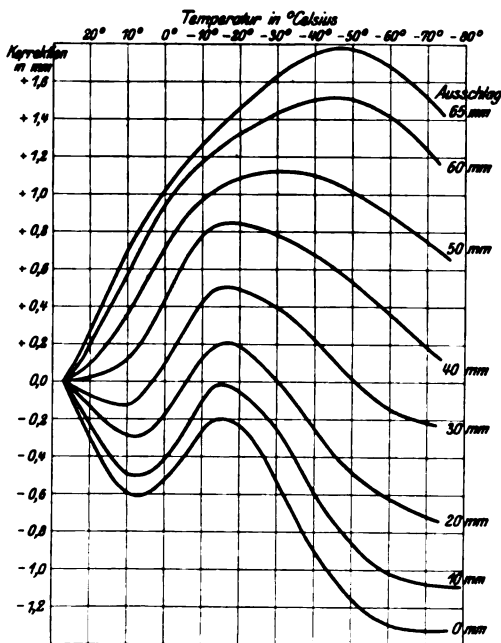


Fig. 5. Isolethendiagramm für Barographenkorraktionen.

die sich nicht zusammenreimen ließen, wurde es mir klar, daß diese Korrektionsformeln für die Verhältnisse oberhalb Batavias nicht tauglich sind, und daß eine vollständige Eichung gleichzeitig bei niedrigen Drucken und tiefen Temperaturen unumgänglich nötig war. Ungeachtet der sehr dürftigen technischen Hilfsmittel des Observatoriums sind diese Schwierigkeiten, wenn auch nicht ganz, so doch in genügendem Maße überwunden worden, so daß jetzt immer für jedes zurückgebrachte Diagramm zulässige Korrekturen zur Verfügung stehen.

Das Instrument wird bei der Eichung in ein nur wenig größeres, hermetisch verschließbares Gefäß gebracht und letzteres wieder in ein Bad von wechselnder Zusammensetzung und Temperatur untergetaucht. Benutzt sind: bei ca. $+26^{\circ}$ C (Zimmertemperatur) Wasserbad; bei ca. $+5^{\circ}$ C durch Eis abgekühltes Wasserbad; bei ca. -15° C ein Bad von Eis mit Salz; bei ungefähr -40° , -60° und -75° C Alkohol mit fester Kohlensäure gekühlt. Bei jeder dieser Temperaturen wird der Druck in 5 Stufen von 760 bis 25 mm erniedrigt. Hierbei ist das Fehlen von Ventilation dem Temperaturaustausch zwischen Bad und Barograph zweifellos hinderlich. Es wurde deshalb immer, nachdem das Bad die gewünschte Temperatur angenommen hatte, eine halbe Stunde gewartet, bis mit der Druckverminderung begonnen wurde, und weiter zuerst von höheren zu tieferen und nachher umgekehrt von tieferen zu höheren Temperaturen fortgeschritten.

Künstliche Ventilation und Anwendung von Spiralföhrn, durch welche die abkühlende Flüssigkeit innerhalb des Gefäßes zirkuliert, stellt selbstverständlich

eine bessere Methode vor, doch sind die von uns erzielten Resultate von genügender Zuverlässigkeit.

Diese Ergebnisse zeigten nun deutlich, daß die meisten Instrumente für Druck und Druckkorrekturen keine geradlinigen Isothermen liefern, wie dies bei der Hergesell-Kleinschmidtschen Formel der Fall ist, sondern daß sie gerade da, wo sie am genauesten sein sollten, nämlich bei den tiefen Temperaturen und kleinen Drucken, zuweilen bedeutend davon abweichen. Zur praktischen Benutzung der Eichungsergebnisse wurde ein Isoplethendiagramm der Barographenausschläge konstruiert; als Beispiel ist hier ein solches für das Instrument Bosch Nr. 485 reproduziert (Fig. 5).

Die Abszissen geben die Temperaturen, die Ordinaten die endgültigen Korrekturen des Ausschlags in Millimetern an. Mit einem Blicke läßt sich bei der Bearbeitung des Ballondiagrammes, wobei Temperatur und Ausschlag als gegebene Größen fungieren, die Ausschlagskorrektur aus dem Isoplethendiagramm herauslesen. Mit dem korrigierten Ausschlag wird aus der bei Zimmertemperatur erhaltenen Eichungskurve des Barographen der Druck abgelesen.

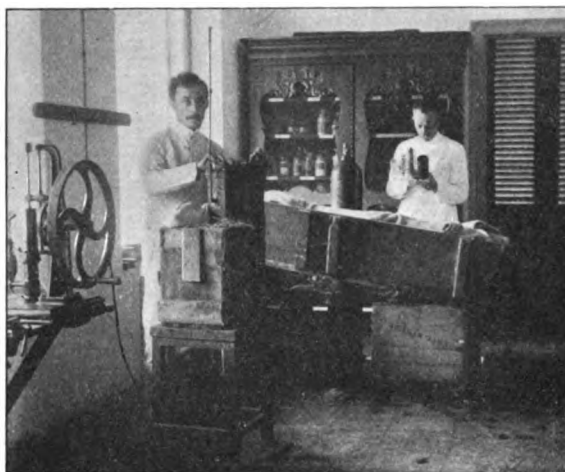


Fig. 6. Eichung eines Registrierinstrumentes.

Auf nebenstehendem Bilde sieht man Dr. Braak und den Rechner Kats mit einer Eichung beschäftigt, wobei auch ersichtlich ist, wie die Kohlensäureflasche in Eis abgekühlt wird, um den schädlichen Einfluß der hohen Zimmertemperatur auf die Produktion von fester Kohlensäure aufzuheben.

Um das starke Beschlagen des sehr kalten Instrumentes bei Zutritt von Zimmerluft zu verhindern, wird letztere vorher über Chlorkalzium geführt.

Drachen.

Weiland Marineleutnant Rambaldo, welcher in Lindenberg durch Geheimrat Aßmann in die aerologische Wissenschaft und deren Technik eingeführt worden war, faßte im Jahre 1908 den Plan, an Bord des Kriegsschiffes, auf welchem er via Westindien nach Java reisen sollte, Drachenaufstiege zu veranstalten, und mit zäher Beharrlichkeit hat er die zahlreichen Hindernisse, die sich diesem Unternehmen entgegenstellten, überwunden.

Kurz nach seiner Ankunft auf Java wurde er zum Observatorium abkommandiert und konnte sich daselbst seinen Experimenten in erweitertem Maße hingeben. Seine Ausrüstung ging in den Besitz des Observatoriums über und wurde noch bedeutend vermehrt. Sowohl die erste Anschaffung wie auch die zweite Sendung

sind durch die liebenswürdige und hochgeschätzte Unterstützung des Geh. Regierungsrates Direktor Aßmann zustande gekommen.

Dr. Braak als stellvertretender Direktor (ich weilte von Oktober 1908 bis März 1910 in Europa) und Rambaldo suchten ein passendes Gelände für die Drachenaufstiege und wählten dafür den großen freien Rasenplatz, welcher, mitten in Batavia gelegen, unter dem stattlichen Namen „Koningsplein“ bekannt ist. Mitten auf diesem rechteckigen Gelände, das fast einen Quadratkilometer Flächenraum einnimmt, bauten sie sich eine Hütte zur Aufnahme der Drachen und einer Winde, und hätte sich nicht ein unerwarteter Übelstand gezeigt, so wäre das Terrain äußerst günstig gewesen. Es wurde nämlich wiederholt eingebrochen, wobei sogar die kupfernen Teile der Winde und die Bekleidung der Drachen gestohlen wurden. Da eine dauernde Bewachung aber unmöglich war, mußten wir schließlich das Feld räumen. Auch ohne diesen einigermaßen lächerlichen Umstand hätte die Aufhebung der Drachenstation stattfinden müssen, da längs zweier Seiten des Platzes eine elektrische Bahn, die jetzt in Betrieb genommen ist, gebaut wurde.

Von einer Übersiedelung nach einem anderen Gelände wurde abgesehen, weil die Erfahrung gelehrt hatte, daß die Windverhältnisse nur an wenigen Tagen günstig für Drachenaufstiege sind. Am Morgen ist der Unterwind zu schwach, weniger als 5 m/sec, um die Drachen hochzubringen. Hat nun gegen Mittag der Wind genügend an Kraft zugenommen, um dies möglich zu machen, so hat unterdessen der Oberwind so viel an Geschwindigkeit eingebüßt, daß nur geringe Höhen mit den Drachen erreicht werden können. Aus den mittleren Werten der Windgeschwindigkeit, welche an drei Tagesstunden in verschiedenen Höhen aufgenommen wurden und auf Seite 35 wiedergegeben werden, sind diese ungünstigen Windverhältnisse, die oft einem glücklich begonnenen Aufstiege ein weniger glückliches Ende bereitet haben, leicht zu erkennen. Diesen mißlichen Umständen war unser Personal, das ja doch nicht allein mit aerologischen Experimenten beschäftigt ist, nicht gewachsen, und folglich wurde beschlossen, nachdem Rambaldo das Observatorium wieder verlassen hatte, die Aufstiege auf dem Lande einzustellen und nur auf dem Meere fortzusetzen, womit im Januar 1910 ein gut gelungener Anfang gemacht worden war.

Damals wurden während einer Fahrt von Batavia nach den im Südchinesischen Meere gelegenen Natuna-Inseln und zurück zehn Aufstiege gemacht, während später, im April 1912, Dr. Braak eine derartige Reise nach Süd-Borneo und im September desselben Jahres nach Ambon unternahm. Diese drei Reisen gaben demnach Gelegenheit, die Verhältnisse auf dem Meere während der Regenzeit, während des Monsunkenterns und während der Trockenzeit zu untersuchen.

Der Dampfer „Java“ läuft neun Meilen und besorgt die Ablösung der Leuchtturmwärter. Er ist ein ehemaliges Kriegsschiff ohne hintere Maste, was dem Hochlassen der Drachen sehr förderlich ist. Ein erster Versuch, die Drachen mittels eines Ringes aufzulassen, wie das in Europa möglich ist, schlug fehl und endete mit dem Verlust der Drachen. Nachher wurden die Drachen vom Dache des Zeltes, das über dem erhöhten Hinterdeck ausgespannt ist, hochgelassen, wobei Verluste nicht mehr erlitten wurden.

Durch Kupplung der Drachenwinde mit der Schiffswinde gestaltete sich außerdem auch das Einholen viel bequemer. In Batavia dagegen hat ein geliehener alter Benzinmotor so gut wie gar keine Dienste geleistet; die Beobachter mußten zuweilen selbst beim Einholen mit an der Kurbel drehen.

Die von Rambaldo mitgebrachten Drachen waren nach dem Hargrave-Modell gebaut mit einer Tragfläche von 4 m². Später sind aber am Observatorium solche von 6 m² Tragfläche hergestellt worden. Auch wurden aus Europa zusammenlegbare „Regenschirm“-Drachen bezogen, die jedoch nur selten in Gebrauch genommen werden konnten.

Bei den Aufstiegen strebte Dr. Braak immer danach, die Drachen so lange wie möglich in der Luft zu halten mit der Absicht, Daten zu sammeln für die Kenntnis der täglichen Schwankungen der meteorologischen Elemente und ihrer horizontalen Änderungen in den verschiedenen Höhengschichten.

Neue Methoden sind bei den Drachenaufstiegen nicht befolgt worden. Da sich der Verfasser damit, sowie mit den unten angeführten Fesselballonaufstiegen nur im allgemeinen beschäftigte und die Ausführung der Experimente völlig den Herren Braak und Rambaldo überlassen hat, so wird er sich in dieser Schrift mit obigen Bemerkungen begnügen dürfen.

Fesselballone.

Das Drachenhaus auf dem „Koningsplein“ war ganz dicht an der Rohrleitung, die von der Gasanstalt nach einem Gasbehälter in der oberen Stadt führt, errichtet worden, lag also sehr geeignet für den Fesselballonbetrieb, der mit einem Ballon von 30 m³ Inhalt im November 1909 eingeleitet wurde, während später noch zwei Ballone von 36 m³ hinzukamen. Die Direktion der Gasanstalt hatte die Freundlichkeit, leichtes Gas zu sammeln und für die Füllung zur Verfügung zu stellen. Das spezifische Gewicht des Gases betrug meist 0,45. So ungünstig die schwachen Winde für den Drachenbetrieb gewesen waren, desto förderlicher zeigten sie sich für die Aufstiege der Fesselballone, und die Ergebnisse hätten sehr reichhaltig ausfallen können, hätte nicht die künstliche Ventilation des Registrierapparates versagt. Es wurde zwar nachher versucht, durch schnelles Auslassen und Einholen die fehlende Ventilierung zu ersetzen, aber da versagte wieder der Motor, welcher die Winde antreiben sollte. Besonders für die oberen Höhenlagen, da wo der Auftrieb des Ballons allmählich bis auf Null herabsinkt, sind die Tagesregistrierungen sehr ungenau infolge der Strahlung ausgefallen. Bei Aufstiegen während des Abends und der Nacht war dieser schädliche Einfluß nicht zu befürchten. Wegen Personalmangels wurde Anfang 1911 auch der Fesselballonbetrieb eingestellt, und es ist noch nicht entschieden, inwieweit wissenschaftliche Interessen die Wiederaufnahme des regelmäßigen Betriebes erfordern. Die tägliche Schwankung der Temperatur und Feuchtigkeit, welche in den verschiedenen Höhengschichten auftritt, bildet ein Problem von genügendem Interesse, um statt dessen nächtliche Aufstiege zu veranstalten. Ein solcher wurde z. B. in der Nacht vom 16.—17. Februar 1912 vorgenommen, wo die Ballone fünfmal hochgelassen wurden. Das letzte Mal, als beide Ballone am Kabel zogen, kehrte leider nur der unterste zur Erde zurück, während

vom oberen niemals mehr die geringste Nachricht erhalten wurde. Ein neuer Ballon ist jedoch mit eigenen Kräften am Observatorium hergestellt worden. Bei jenen nächtlichen Aufstiegen machte man die Erfahrung, daß die starke Taubildung, wodurch der Ballon an Steigkraft verliert, sehr zu beachten und möglichst zu umgehen ist.

Hoffentlich können auch die Aufstiege am Tage, aber dann mit einem kräftig ventilierten Registrierapparat, wieder aufgenommen werden.

Freiballon „Batavia“.

Im Jahre 1909 wurde in Batavia ein Indischer Luftfahrt-Verein ins Leben gerufen, und der Verein sah sich auch bald durch Schenkungen in der Lage, einen Ballon zu kaufen. Dieser Ballon, der einen Inhalt von 1680 m³ hatte, wurde von der Firma Clouth in Cöln geliefert und langte im Januar 1910 in Batavia an. Am 26. Februar 1910 wurde er alsdann vom General-Gouverneur Idenburg feierlich mit dem Namen „Batavia“ benannt. Unmittelbar nach dieser Zeremonie hob er sich zu einer ersten Fahrt in die Luft. Nach zahlreichen Fahrten, die von Batavia und Soerabaja aus unternommen wurden, hatte die Hülle neben großen Schäden infolge schwerer Landungen auch solche infolge von Sonnenbestrahlung erlitten, so daß neuerdings beschlossen werden mußte, die alte Hülle durch eine neue zu ersetzen.

Auf mehreren der Fahrten sind meteorologische Beobachtungen angestellt worden, deren Ergebnisse, soweit sie dafür tauglich waren, von Dr. Braak bearbeitet worden sind¹⁾. Die meteorologische Ausrüstung bestand aus einem künstlich ventilierten Barothermohygrographen von Bosch (Straßburg) und einem Aspirationsthermometer nach Aßmann. Die Registrierung des ersteren Instrumentes zeigte deutlich, daß ungeachtet der künstlichen Ventilation und des doppelten Schutzmantels bedeutende Strahlungseinflüsse wirksam geblieben waren. Dr. Braak äußert sich darüber mit folgenden Worten (a. a. O. S. 20):

„Die Thermo- und Hygrographenbeobachtungen sind nicht zuverlässig. Sie zeigen unregelmäßige Abweichungen; die Temperaturen sind merklich höher als die Aßmannschen Temperaturen. Die Störungen sind wohl nicht dem Ballon zuzuschreiben, sonst würden sie auch in den Aßmannschen Temperaturen sich zeigen müssen; wahrscheinlich ist die Ventilation ungenügend gewesen, obwohl der Ventilator gut arbeitete. Da nur die arbeitenden Teile, nicht das ganze in Ruhe aufgehängte Instrument ventiliert wird, ist eine starke Erhitzung des Apparates zu fürchten, und da der aspirierte Luftstrom von oben eintritt, berührt er eben die erhitzten Teile, und eine merkliche Einwirkung ist gar nicht ausgeschlossen. Vielleicht spielt auch direkte Strahlung oder Wärmeleitung zum Thermographenkörper eine Rolle. Der mehr geschützte Hygrograph weicht nämlich systematisch weniger ab.“

Was die Füllung des Ballons angeht, so war auf Java von Wasserstoff-Füllung keine Rede. Jedoch lieferte die Gasanstalt freundlichst ein besonders leichtes Leucht-

¹⁾ Dr. C. Braak, Kon. Magnet. en Meteor. Observatorium te Batavia. Verhandelingen 2, 1912.

gas, das eigens für die Ballonfahrten zusammengespant wurde. Die Gasdichte betrug ca. 0,45, so daß mit vier nicht zu schweren Insassen noch 3000 m Höhe erreicht werden konnte. Marineleutnant Rambaldo erreichte mit einem Insassen, nachdem zwei ausgestiegen waren, sogar eine Höhe von 3500 m.

Die Schmalheit der Insel Java setzt der freien Ballonfahrt Schranken entgegen, ungeachtet des glücklichen Umstandes, daß die Längsausdehnung der Insel dem



Fig. 7. Ballonlandung auf einem trockenen Reisacker.

ostwestlichen Windsystem parallel läuft und die Geschwindigkeit des Windes durchschnittlich gering ist. Unvorteilhaft ist es in dieser Hinsicht, daß diejenigen Städte, welche eine Gasanstalt besitzen, an der Küste liegen; nur Buitenzorg macht davon eine Ausnahme. Tatsächlich hat einmal in Buitenzorg ein Aufstieg stattgefunden, aber die Gasanlage besaß für die Füllung eine praktisch zu geringe Leistungsfähigkeit.

Während der Jahreszeit der östlichen Winde bieten Batavia und besonders Soerabaja ziemlich günstige Verhältnisse dar, hingegen während der anderen Jahreszeit ist ihre Lage den Westwinden gegenüber die denkbar schlechteste. Die Fahrten, die während letztgenannter Zeit von Batavia aus unternommen wurden, endeten alle sehr bald entweder in ausgedehnten Sümpfen oder an der Küste. In Soerabaja hat man es einmal gewagt, bei westlichem Winde aufzusteigen, wobei man sich auf die Hilfe eines Torpedobootes stützte. Tatsächlich konnte der Ballon, welcher über der Madurastraße schwebte, das Land nicht erreichen und mußte auf dem Dampfer „gelandet“ werden, was nur mit großer Mühe und Materialbeschädigung gelang. Zuerst wurde noch versucht, den Ballon mittels des Schlepptaues ans Land zu schleppen, jedoch mußte man das aufgeben, als der Korb nebst Insassen einige Male ins Wasser tauchte. Eine solche Landung soll auf Grund dieser Erfahrungen nur als Notbehelf dienen und nicht absichtlich ausgeführt werden.

Auch von Batavia aus wurde eine Fahrt über dem Meere unternommen, auf welche ich zurückkommen will.

Interessant ist es zu lesen, was einer der Insassen über die Durchsichtigkeit des Meerwassers schreibt: „Ist schon die Farbenpracht über dem Lande auffallend, so ähnelt sie doch noch nicht jener, welche das Meer zu schauen gibt. Das tiefste Blau wechselt mit den zartesten grünen Färbungen, die da, wo der Strand beginnt, ins Gelbe übergehen, während die intensiv grünen Inseln sich wie Sträube ausnehmen.“

„Noch mehr Eindruck macht aber die Durchsichtigkeit des Wassers.“

„Bei den Inseln war es nicht zu unterscheiden, wo das Meer endete und das Land anfing. Einige Riffe machten den Eindruck, Inseln zu sein, wären nicht die darüber treibenden Fischerkähne dagewesen, die nur allzu deutlich das Gegenteil bewiesen. In einer Höhe von 500—800 m konnte man bis zu großer Tiefe hinabsehen, an gewissen Punkten war eine Beobachtung des Meeresbodens noch möglich bei einer Tiefe von 10—12 Faden.“

„Es stellte sich heraus, daß für eine gute Beobachtung wenigstens 500 m Höhe nötig war und daß später während der Schleppfahrt in 75 m Höhe keine Spur von Riffen oder Fischen dem Auge sichtbar wurde.“

Anemometer.

Die im Archipel vorwaltenden Windverhältnisse, die u. a. sich darin zeigen, daß das Inselreich (ausgenommen in seinen allernördlichsten und -südlichsten Teilen) nie von Zyklonen heimgesucht wird, bedingen ein ganz anderes Interesse für Windbeobachtungen als in anderen sturmbesuchten Gegenden. Früher ist in Batavia den anemometrischen Beobachtungen meiner Meinung nach mehr Beachtung geschenkt worden, als sie verdienen, besonders da der Einfluß der starken Reibung, welche der dicht bewachsene Erdboden ausübt, die Beobachtung eines ungestörten Monsuns stark beeinträchtigt.

Der frühere Direktor des Observatoriums, Dr. J. P. van der Stok, hat aus den zahlreichen Beobachtungen, welche an Bord von holländischen Kriegsschiffen und auf Leuchttürmen angestellt wurden, das Windsystem völlig klargelegt in seiner Veröffentlichung: *Wind and weather, currents, tides and tidal streams in the East Indian Archipelago*. Batavia 1897.

Es war aber von großer Wichtigkeit, das Verhalten der zwei Hauptluftströmungen, des West- und Ostmonsuns, welche charakteristisch für das Klima des Archipels sind, dauernd zu überwachen und eine derartige Überwachung, wenn möglich, mittels Beobachtungen auf dem Meere auszuüben, da nur auf dem Meere die Monsune ungestört wehen, dagegen auf dem Lande durch Erhebungen des Bodens, durch Berg- und Talwind, Land- und Seebrise stark beeinflußt werden.

Diese Überlegungen führten zur Errichtung von Anemometerstationen auf einigen Leuchttürmen, die mitten auf dem Meere eine völlig freie Lage besitzen. Die drei Türme sind so gewählt worden, daß der für die klimatischen Verhältnisse besonders wichtige Ostmonsun während des größten Teiles seiner Bahn über den Archipel hin verfolgt werden kann. Der erste Turm steht auf einer winzigen Insel

namens Maety Miarang, welche östlich von der NE-Spitze Timors liegt und dem von Australien her über die Timorsee herankommenden Ostmonsun besonders ausgesetzt ist. Der zweite steht auf einem Korallenriffe südlich von der SW-Spitze von Celebes, bekannt unter dem Namen „de Brill“, und der dritte, „Discovery Oostbank“, gleichfalls auf einer Korallenbank östlich von der Insel Billiton.

Da die Leuchtturmwärter Eingeborene sind, hielt ich es für zu gewagt, ihnen die tägliche Überwachung eines Anemographen zuzutrauen, und überließ ihnen deshalb nur die Ablesung des so einfachen und fast nie versagenden Robinsonschen Schalenkreuzes. Die Zifferblätter werden von den Wärtern an folgenden Terminstunden abgelesen: 6^h a. m., Mittag, 6^h p. m., und dies genügt für die Kenntnis der stetigen Winde des Ostmonsuns, nicht aber für diejenige der böigen Winde des Westmonsuns und der unsteten des „Monsunkenterns“.

Das Schalenkreuz der Anemometer steht in einer Höhe von ca. 28 m über dem Meeresspiegel, so daß der Wind in dieser Höhe zum Teil frei von dem ohnehin geringen Reibungseinfluß der Meeresoberfläche sein wird. Dr. Braak konnte auf seiner Drachenreise nach Ambon den Leuchtturm auf „de Brill“ besuchen und sich von der zweckmäßigen Aufstellung von Schalenkreuz und Windfahne überzeugen; er machte die hier reproduzierte photographische Aufnahme, welche die freie Lage des Turmes deutlich zeigt, und auf welcher der Aufstellungsort des Anemometers mit einem Pfeil bezeichnet ist.

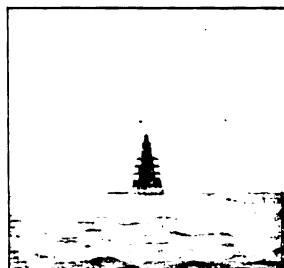


Fig. 8. Leuchtturm mit Anemometer auf „de Brill“.

Zwar wird der Archipel nicht von Zyklonen besucht, aber die Gewitterböen werden zuweilen von heftigen jähren Windstößen eingeleitet. Windhosen, die Dächer abwerfen und Häuser einstürzen, kommen gelegentlich vor. Die immer in voller Blätterkrone prangenden Bäume sowie die luftig gebauten Häuser sind wenig widerstandsfähig und fallen öfters den Windstößen zum Opfer, was dazu beiträgt, daß die Einwohner, welche wirkliche Stürme nicht kennen oder halb vergessen haben, die Windstärke meist überschätzen. Zu dem Zweck, praktische Kenntnisse über die Energie solcher Windstöße zu erwerben, ist schon seit zwei Jahren eine Schnellregistrierung der Windgeschwindigkeit und ein Winddruckaufzeichner am Observatorium tätig. Der letztere hat statt der üblichen Druckplatte einen zylinderförmigen Körper (50 × 20 cm), welcher auf einem in seiner Mitte kardanisch aufgehängten Stabe steht. Am unteren Ende des Stabes befindet sich ein Gewicht, daß in ein Wasserbad eintaucht, wodurch etwaige Schwingungen gedämpft werden. Weiter trägt der Stab einen Schreibarm, dessen Feder auf berußtes, unbewegtes Papier die Kurven zeichnet. Das Papier wird täglich gewechselt und für jeden Tag aus dem Diagramm Richtung und Druck des stärksten Windstoßes abgelesen. Leider hat, seitdem dieses einfache Instrument funktioniert, noch keine heftige Böe das Observatorium getroffen. Auf umseitiger Abbildung des Observatoriums sieht man den Apparat ganz rechts oben.

Um weiter auch Beobachtungen über die momentane Windstärke im Gebirge zu sammeln, hat der Direktor der staatlichen Kina-Anpflanzungen auf meine An-

regung hin einen Biagraphen nach Dines auf einem seiner Dienstgebäude aufgestellt. Der Ort liegt 1580 m hoch über dem Meeresspiegel auf einer Hochebene südwestlich vom erloschenen Vulkan Malabar, der sich im südwestlichen Teile von Java bis zu einer Höhe von 2340 m erhebt.

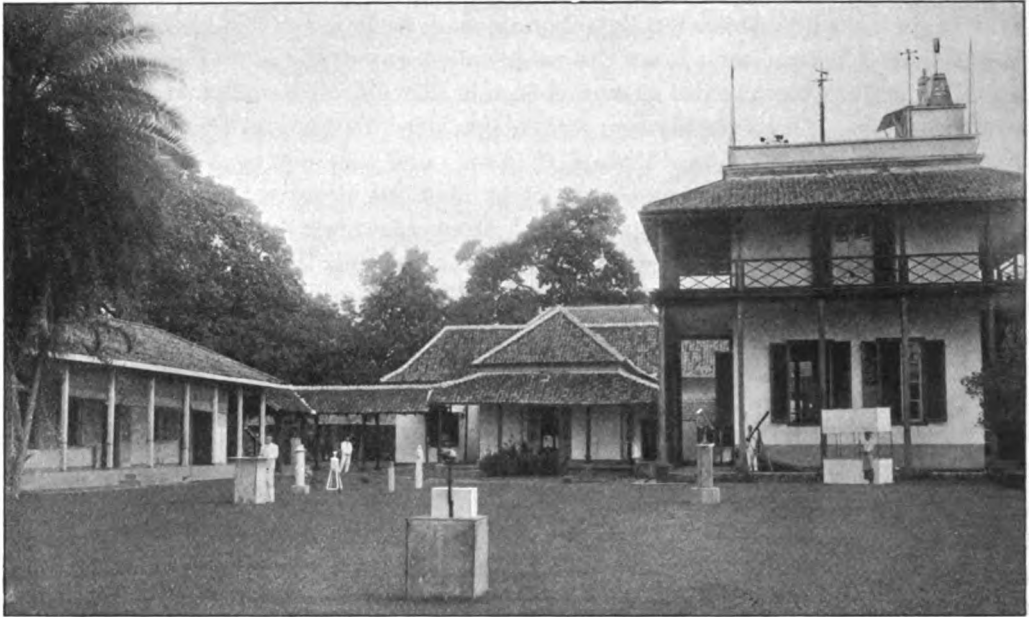


Fig. 9. Die Hinterfront des Observatoriums bei Batavia.

Bergstationen.

Bevor man gelernt hatte, die Mittel, welche die Ballontechnik für die Untersuchung der Atmosphäre geschaffen hat, erfolgreich anzuwenden, hatte man damit begonnen, auf den Berggipfeln regelmäßige Beobachtungen anzustellen und besonders mit selbstregistrierenden Instrumenten die Wettervorgänge zu verfolgen. In den letzten Jahren, als die Ballonbeobachtungen eine größere Vollkommenheit erreichten, zeigte es sich, daß diese viel besser die wahren Verhältnisse in der freien Atmosphäre angeben als Bergbeobachtungen (von den Verhältnissen über dem Meere ganz zu schweigen), aber glücklicherweise hat man die letzteren darum nicht vernachlässigt. Sie geben uns doch ein Bild von den tatsächlichen Verhältnissen in dem Gebirge, denn eben dort befindet sich die Brutstätte manches Wetterphänomens, das weithin über die Ebene ausstrahlt. Außerdem ist gerade im ostindischen Archipel das Gebirge von erhöhter Wichtigkeit, da auf seinen Abhängen große Kulturen getrieben werden.

Während der Jahre 1893—1897 sind von Dr. Kohlbrugge regelmäßige Beobachtungen angestellt worden auf einer Bergstation — Tosari — in einer Höhe von 1770 m auf dem nordöstlichen Abhänge des in Ostjava sich erhebenden Tengger-Vulkans.

Im Jahre 1911 ist in diesem bekannten Kurort durch das Observatorium eine mit selbstregistrierenden Instrumenten versehene meteorologische Station errichtet worden, und bald darauf sind auch auf dem merkwürdig gestalteten Massiv des Idjenvulkanes, welcher auf der östlichen Flanke der gigantischen Reihe der javanischen Vulkane steht, sowie an seinem Fuße fünf mit selbstregistrierenden Instrumenten ausgerüstete Stationen gebaut worden.

Die mittlere liegt in 1100 m Höhe auf dem Boden des riesigen, längst erloschenen Kraters, welcher nicht weniger als 15 km Durchmesser besitzt.

Eine wahre Gipfelstation wurde auf der 3025 m hohen Spitze des Pangerango, des höchsten Berges im westlichen Teile Javas, errichtet. Zwei andere Stationen, in 1110 und 1425 m Höhe, auf seinen Flanken und die im Nordwesten in der Ebene liegende Station Buitenzorg bilden mit der Gipfelstation in Westjava ein Stationssystem, wie die Idjenstationen und Tosari mit der Basisstation Pasoeroean in Ostjava.

Die hier reproduzierte Photographie der meteorologischen Hütte, welche ich auf dem Pangerangogipfel aufnahm, gibt ein Bild von dem hölzernen, mit Jalousien versehenen Käfig, in welchem die Instrumente aufgestellt sind, und von dem Schirm-dache, welches gegen direkte Sonnenbestrahlung schützt. Beide sind speziell für die indischen Verhältnisse entworfen worden.



Fig. 10. Meteorologische Hütte auf dem Pangerango-Gipfel, 3025 m über dem Meere.

Seit der Errichtung der Pangerangostation — 1. Januar 1912 — wird sie wöchentlich von einem eingeborenen Gärtner des botanischen Berggartens in Tjibodas (1425 m Höhe) besucht zwecks Auswechslung der Registrierbögen und Ablesung einiger Instrumente.

Wolken-Theodolithe.

In jenen Zeiten, als man Registrier- und Pilotballone noch nicht kannte, waren es insbesondere die Wolken, welche uns am meisten über die Wind- und Kondensationserscheinungen bis zu großen Höhen aussagten, vornehmlich, als es mittels der Photographie möglich wurde, von dem so komplizierten Wolkengebilde sich ein momentanes Bild zu schaffen. Die Wissenschaft tat einen bedeutenden Schritt vorwärts, als durch die Initiative Hildebrandssons 1896/97 überall Wolkenbeobachtungen angestellt wurden. Auch in Batavia wurden in diesem Wolkenjahre mit zwei photographischen Theodoliten zahlreiche Doppelaufnahmen zwecks Höhenbestimmung gemacht. Der zweite Beobachtungspunkt, der

1625 m vom Observatorium entfernt lag, ist auf dem Plane (S. 7) mit W angedeutet.

Auch über den Wolkenzug wurden in jenem und dem folgenden Jahre zahlreiche Beobachtungen in Batavia angestellt, dabei wurde jedoch dem Zug der Cirren und der hohen, sich meist am Nachmittage entwickelnden Cumulonimbi wenig Beachtung geschenkt. Seitdem ist aber während der Jahre 1906 bis 1911 der Zug der Cirren fleißig beobachtet worden, auch werden seit kurzem Doppelaufnahmen der Cu-Ni gemacht. Die letzteren zeigen sich am Nachmittag besonders im Süden, näher dem Gebirge, wo sie sich zu wahren Wolkenkolossen auftürmen. Die zweite Station wurde darum bei der Wohnung des bei jenen Aufnahmen behilflichen Beamten errichtet, welche $5\frac{1}{2}$ km südöstlich vom Observatorium entfernt liegt; mittels eigener Fernsprechleitung ist es möglich, im Falle sich interessante Wolken zeigen, innerhalb 10 Minuten eine Doppelaufnahme zu machen. Die Anwendung von Brusttelefonen ermöglichen den Beobachtern, sich während der verschiedenen Manipulationen ununterbrochen miteinander zu verständigen. Die beiden photographischen Theodoliten, welche vor ungefähr 20 Jahren von Steinheil geliefert wurden, sind zwar von schwerfälliger, aber genauer Ausführung; die instrumentellen Korrekturen sind mit Sorgfalt bestimmt worden.

Ergebnisse.

Wind.

In den folgenden Kapiteln will ich die hauptsächlichsten Ergebnisse, welche früher und besonders in den letzten Jahren mit den in den vorigen Kapiteln beschriebenen Beobachtungsmitteln erreicht worden sind, behandeln, und, da die Erforschung der Windverhältnisse bis jetzt am eifrigsten betrieben wurde, soll mit den Beobachtungen dieses für die Meteorologie hochwichtigen Elementes angefangen werden.

Ein erstes Ergebnis¹⁾ ist die mittlere Geschwindigkeit des Windes ungeachtet seiner Richtung. Die umstehende Tabelle, in welcher die Stufenwerte für fünf Monatsgruppen (über die Einteilung des Jahres in diesen Gruppen siehe weiter unten) vereinigt sind, wurde für die Höhen bis 17 000 m aus den bis 1. Juli 1911 laufenden Beobachtungen und für die Höhen oberhalb dieses Niveaus aus dem gesamten bis Ende September 1912 reichenden Material zusammengestellt.

Diese mittleren Zahlen sprechen deutlich von einer im allgemeinen schwachen Luftbewegung, und auch die bei den verschiedenen Aufstiegen beobachteten Geschwindigkeiten selbst sind zum größten Teil wenig von den Durchschnittswerten verschieden. In den untersten Schichten überschreitet die Geschwindigkeit selten 10 und fast niemals 20 m/sec., und zwar dieses nur bei voller Entwicklung des West- und Ostmonsuns. Es muß aber hier betont werden, daß dies für ziemlich ungestörtes Wetter gilt, und daß Böen außer acht gelassen sind.

Die Tabelle zeigt weiter an, daß oberhalb der Schicht, wo die Bodenreibung den Wind bremst, die Geschwindigkeit durchschnittlich gleich bleibt und erst in 6 km Höhe zu wachsen anfängt, bis bei 13 000—15 000 m die Höchstwerte erreicht werden. Merkwürdig ist es nun, daß in diesen Höhen die Schwankung zwischen den windschwachen Übergangszeiten und den windstarken Monsunen viel größer als in den unteren Schichten ist. Dies läßt sich aber leicht erklären aus der geringeren Dichte der Luft, was im folgenden näher besprochen werden wird.

Ist zwar die Kenntnis der Windgeschwindigkeit an sich schon lehrreich und nützlich, so besteht natürlich der Hauptzweck darin, Richtung und Geschwindigkeit in ihrem Zusammenhange kennen zu lernen, also das allgemeine System der Winde über dem Archipel und speziell über Batavia zu erforschen.

Das Windsystem über dem Archipel ist sehr einfach gebildet; es erleidet auch keine Störungen durch Zyklonen, wie dies z. B. im westlichen äquatorialen Teile des Indischen Ozeans der Fall ist.

Die Luftströmungen in den unteren Schichten der Atmosphäre werden von den Nachbarkontinenten Australien und Asien beherrscht, jener auf der südlichen,

¹⁾ Cf. Kon. Magn. en Meter. Observatorlum te Batavia. Verhandelingen 1, 1911,

Mittlere Windgeschwindigkeit um 8 h. a. m. in m. p. Sek.

Höhe in Kilometer	Dezember Januar Februar	März April	Mai Juni	Juli August September	Oktober November	Mittel der 5 Gruppen
0,1	3,3	3,1	2,7	2,6	3,1	3,0
0,5	5,9	3,5	4,2	4,4	4,6	4,5
1	6,1	4,1	4,3	5,9	5,3	5,1
1,5	5,8	4,6	4,4	6,3	5,9	5,4
2	6,6	4,6	4,5	6,4	5,9	5,6
2,5	6,8	4,6	4,3	5,7	5,4	5,4
3	6,2	5,5	4,3	5,3	5,5	5,4
3,5	6,3	5,6	4,3	4,9	5,2	5,3
4	5,3	5,8	5,5	5,1	5,1	5,4
4,5	5,3	5,2	6,1	5,1	5,8	5,5
5	4,9	6,0	6,0	5,5	5,2	5,5
5,5	4,8	4,8	6,2	5,6	4,8	5,2
6,25	4,7	5,1	6,1	6,6	5,3	5,6
7,25	4,2	5,8	6,5	8,1	5,5	6,0
8,25	5,2	6,5	7,1	9,5	5,8	6,8
9,25	5,6	5,3	7,0	9,9	6,0	6,8
10,5	6,2	5,0	6,6	12,1	6,9	7,4
12	8,9	7,5	6,5	14,6	7,1	8,9
13,5	16,0	10,4	8,1	16,8	10,2	12,3
15	16,4	10,8	7,2	14,1	11,9	12,1
17	12,2	6,4	7,2	10,4	9,0	8,3
18,25	—	—	—	9,2	—	—
19,25	6,5	—	—	12,8	—	—
20,25	—	—	—	16,0	—	—
21,25	5,7	—	—	15,3	—	—
22,25	—	—	—	14,7	—	—
23,25	—	—	—	10,8	—	—
24,25	—	—	—	6,9	—	—

dieser auf der nördlichen Hemisphäre liegend; besonders Australien spielt hierbei eine große Rolle, da dessen Wüsten im südlichen Sommer stark überhitzt werden, sich dagegen im Winter bedeutend abkühlen.

Das erwärmte Australien saugt den über das Chinesische Meer äquatorwärts wehenden Nordostpassat über den Äquator hin zu sich heran, wobei die ursprünglich nordöstliche Luftströmung allmählich in eine nordwestliche übergeht. Die bereits während ihrer langen Reise über südliche Meere erwärmte und wasserdampfreiche Luft bringt als Nordwestmonsun dem südlichen Archipel ergiebigen Regen; dagegen wird die Luft, wenn sie im südlichen Winter aus dem kalten und trockenen Australien weht, bei ihrer Annäherung erst erwärmt und bedingt im Archipel die Trockenzeit.

In seiner oben erwähnten Arbeit „Wind and weather, currents, tides and tidal streams in the East Indian Archipelago“, Batavia 1897, hat van der Stok Monatskarten für die Verteilung der in den verschiedenen Meeresgegenden des Archipels vorherrschenden Winde herausgegeben. Aus diesen Karten ersieht

man, wie der NE-Passat am Äquator nördliche Richtung annimmt und weiter südlich zum NW- und Westwinde wird, während umgekehrt der Ostmonsun den Gleicher als Südwind überschreitet. Der Ostmonsun unterscheidet sich nur wenig von dem reinen SE-Passat und wird deshalb im folgenden zwecks besserer Unterscheidung vom Westmonsun unter dem Namen Passat angeführt werden. Wenn auch diese Monsune in regelmäßiger Weise auftreten, so war doch aus den Flugbahnen der an verschiedenen Tagen beobachteten Pilotballone ersichtlich, daß von Tag zu Tag die Windrichtungen mehr oder weniger veränderlich sind. Es war deshalb bei der Zusammenstellung der Ergebnisse jener Aufstiege durchaus notwendig, neben einer Methode, die sich für regelmäßige Winde eignete, noch eine andere zu befolgen, die sich besser veränderlichen Zuständen anpaßt.

Wenn die interdiurnen Änderungen der Windrichtung und -geschwindigkeit klein sind, so lassen sich durch einfache Vektoraddition mittlere Windvektoren ableiten, die wirklich den Hauptcharakter der Luftströmung nach Richtung und Geschwindigkeit wiedergeben. Diese Vektoren können resultierende Windvektoren genannt werden. Werden dagegen die interdiurnen Änderungen beträchtlich größer, so verlieren diese Vektoren allmählich an Bedeutung und liefern nicht einmal ein Maß für diese Veränderlichkeit, die nichtsdestoweniger großen Wert für die Charakterisierung der Windverhältnisse besitzt. Es war also erforderlich, die beobachteten Windvektoren auf solche Weise zusammenstellen, daß eine Übersicht sowohl der Hauptzüge als auch der Veränderlichkeit erlangt wurde.

Nach verschiedenen Versuchen entschloß ich mich zu folgender Methode.

Für jede Höhenstufe wurden alle beobachteten Geschwindigkeiten mit den Richtungen N bis N9° O, N10° E bis N19° E usw. addiert und die verschiedenen Summen durch die Anzahl aller in jener Höhenstufe beobachteten Fälle dividiert; also:

$$S_{h\alpha} = \frac{\sum V_{h\alpha}}{n_h}$$

$S_{h\alpha}$ ist folglich für die Höhenstufe h und die Richtung α die mittlere Geschwindigkeit, multipliziert mit der Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Wind aus der Richtung α .

Diese Größe ist also eine Geschwindigkeit, die mit einer gewissen Richtung im Zusammenhang steht und deshalb mit Fug und Recht Richtungsgeschwindigkeit genannt werden kann, und da die Geschwindigkeit außerdem proportional zur Wahrscheinlichkeit ihres Vorkommens genommen ist, nannte ich sie:

Relative Richtungsgeschwindigkeit.

Die zahlenmäßigen Ergebnisse für diese Größe eigneten sich ausgezeichnet für eine bildliche Darstellung mittels Isoplethendiagrammen, da aus ihnen unmittelbar die Hauptluftströmungen in ihrer vertikalen Ausdehnung und ihrem Stetigkeitsmaß betreffs der Richtung zu erkennen sind.

Die Kenntnis dieser Hauptströmungen würde nicht vollständig sein, wenn nicht auch der Luftmasstransport beachtet worden wäre; denn auf diese Luft-

versetzung kommt es schließlich bei vielen Fragen, welche die allgemeine atmosphärische Zirkulation betreffen, hauptsächlich an. Man findet für sie leicht ein Maß, wenn man die Geschwindigkeit für jedes Niveau mit der Luftdichte in jener Höhe multipliziert. In diesem Falle war es aber nur möglich, die mittleren Geschwindigkeiten mit den mittleren Dichten für jedes Niveau zu multiplizieren, denn für die meisten Aufstiege fehlten gleichzeitige Temperaturbeobachtungen. Die Berechnung der Werte für die Luftdichte mußte also mittels der mittleren Temperaturen der Atmosphäre ausgeführt werden; ich habe aber dabei die Differenz, die zwischen den Temperaturen der Regen- und Trockenzeit auftritt, als von zu wenig Einfluß außer Rechnung gelassen. Die mit der Luftdichte multiplizierten Werte, wobei die Dichte für einen Luftdruck von 760 mm und für eine Temperatur von 0° C reduziert war, nannte ich „reduzierte resultierende Windvektoren“ und „reduzierte relative Richtungsgeschwindigkeiten“.

Trotzdem das Material der Windbeobachtungen relativ sehr reichhaltig ist, denn es liegen jetzt (1. Dezember 1912) die Daten von 469 Aufstiegen vor, so reichte es doch noch nicht aus, insbesondere nicht für die höheren Niveaus, um für jeden der zwölf Monate eine Zusammenstellung durchzuführen, so daß ich mich genötigt sah, mich auf die Jahreszeiten zu beschränken. Die Einteilung des Jahres nach Jahreszeiten war natürlich so zu wählen, daß hierbei auf die Windverhältnisse soviel wie möglich Rücksicht genommen wurde. Ich entschloß mich darum, dem Wechsel der Monsune zu folgen, und machte folgende Einteilung:

Oktober—November	„Monsunkentern“ (Übergangszeit),
Dezember—Januar—Februar	Westmonsun,
März—April	„Monsunkentern“ (Übergangszeit),
Mai—Juni	} Ostmonsun.
Juli—August—September	

Die letzte Jahreszeit habe ich, da sie gegenüber den anderen zu lang ist, in zwei Teile getrennt.

Wie überall auf der Erde schwanken die zeitlichen Grenzen der natürlichen Jahreszeiten von Jahr zu Jahr hin und her. Dieser Umstand wird aber hauptsächlich während der Übergangszeiten zur Geltung kommen, während für die oben gewählten Monate des West- und Ostmonsuns diese fast immer ihre volle Herrschaft ausüben.

Da die Winde während der Übergangszeiten nur schwach wehen und oft ihre Richtung wechseln, so werden in den Zusammenstellungen für diese Jahreszeiten hauptsächlich die Daten der beiden Monsune, sei es auch in stark abgeschwächtem Maße, wiedergefunden werden.

Es folgen nun in umstehender Tabelle die Zahlen für Richtung und Größe der resultierenden Windvektoren, teils, das heißt für die Monatsgruppen Oktober—November, Dezember—Februar und Juli—September, nach dem ganzen bis jetzt erworbenen Material, teils allein nach den Beobachtungen der Jahre 1909 und 1910 berechnet.

Da die Anzahl der Beobachtungen für die höheren Stufen nicht ausreichte, um für jede 500 m-Stufe Mittelwerte zu bilden, so wurden von 6000 m an zwei

oder mehr Stufen zusammengefaßt. Am besten wäre es dabei gewesen, für jeden Aufstieg erst die Windvektoren der zwei oder mehr Stufen zu addieren und durch die Stufenzahl dividiert in die weitere Rechnung hineinzubringen; jedoch der kleine Vorteil hätte bei weitem nicht die große Vermehrung der Rechenarbeit gelohnt.

Die Stufen, welche zusammengefügt wurden, sind neuerdings bei der Berechnung der Vektoren für die Jahresabschnitte Dezember—Februar und Juli—September anders gewählt worden; dem ist aber in untenstehender Tabelle soviel wie tunlich Rechnung getragen worden.

Da weitaus die meisten Aufstiege um die Zeit von 7 bis 8 Uhr morgens stattfanden, so gilt die Tabelle für diese Tageszeit. Es sind darum auch die mittäglichen

Resultierender Windvektor 7—8 h a. m. Richtung und Geschwindigkeit in Meter per Sekunde.

Höhe in km		Oktober November	Dezember Januar Februar	März April	Mai Juni	Juli August September	
		Westmonsun			Ostmonsun (Passat)		
1/2		W 84° S 1,5	W 22° S 3,8	W 54° S 1,6	E 23° S 3,0	E 14° S 3,6	
1		E 64 S 1,2	W 8 S 4,3	W 58 S 1,8	E 11 S 2,6	E 8 S 5,0	Landbrise
1 1/2	Landbrise	E 28 S 1,8	W 5 S 4,1	W 19 S 1,9	E 8 S 2,2	E 3 S 5,1	
2	Zurückkehrende Landbrise	E 3 N 2,1	W 8 S 4,2	W 5 N 2,0	E 8 S 1,8	E 2 N 4,8	Zurückkehrende Landbrise
2 1/2		E 1 N 1,6	W 10 S 3,8	W 7 S 1,5	E 2 S 2,0	E 8 N 4,1	
3		E 21 S 1,3	W 17 S 3,3	W 2 N 2,5	E 7 S 2,2	E 3 N 3,4	
3 1/2	Passat	E 12 S 2,1	W 20 S 3,0	W 3 N 2,7	E 2 N 2,2	E 1 S 2,8	
4		E 5 S 2,2	W 20 S 2,2	W 12 N 3,1	E 7 N 2,8	E 5 N 3,2	
4 1/2		E 12 S 2,1	W 31 S 1,5	W 5 N 2,0	E 7 N 3,8	E 9 N 3,3	
5		E 8 S 1,6	W 41 S 1,3	W 17 S 2,6	E 5 N 4,0	E 18 N 3,5	
5 1/2		E 12 S 1,6	E 90 S 0,6	W 26 S 1,3	E 7 N 4,7	E 21 N 4,1	
6 1/4		E 2 N 2,3	E 84 S 0,7	W 70 S 0,7	E 3 N 4,6	E 10 N 6,4	
7 1/4		E 11 N 2,3	E 65 S 1,9	E 16 S 0,8	E 5 N 5,0	E 5 N 7,9	
8 1/4		E 3 N 2,0	E 13 S 3,4	E 16 S 3,4	E 1 S 5,3	E 5 N 8,4	
9 1/4		E 21 N 2,2	E 9 S 3,1	E 19 S 1,8	E 0 S 5,4	E 11 N 9,2	
10 1/4		E 31 N 2,6	E 6 N 3,7	E 12 S 1,9	E 18 N 4,5	E 14 N 10,9	
11 1/4	Antipassat	—	—	—	—	E 19 N 12,7	Antipassat
12 1/4		E 27 N 3,3	E 4 N 4,8	E 3 N 5,2	E 39 N 4,7	E 24 N 16,2	
13 1/4		E 13 N 7,5	E 14 N 9,8	E 4 N 6,5	E 23 N 5,7	E 25 N 18,6	
14 1/4		—	—	—	—	E 19 N 18,3	
15 1/4		E 13 N 10,7	E 27 N 12,2	E 20 N 5,0	E 18 N 5,8	E 18 N 15,5	
16 1/4		—	—	—	—	E 12 N 8,7	
17 1/4		E 29 N 16,8	E 5 N 8,2	E 19 N 0,9	E 6 N 4,0	E 40 S 3,5	Oberpassat
18 1/4		—	E 8 S 3,3	—	—	W 23 S 3,1	
19 1/4		—	—	—	—	W 1 S 7,6	
20 1/4	Oberpassat	—	—	—	—	W 10 S 5,6	Hohe W-Winde
21 1/4		—	E 29 S 1,9	—	—	W 30 N 3,4	
22 1/4		—	—	—	—	W 13 N 7,5	
23 1/4		—	—	—	—	W 16 S 9,9	
24 1/4		—	—	—	—	E 67 S 4,2	

und abendlichen Aufstiege nicht mitberechnet worden, wenigstens für die Werte unterhalb einer Höhe von 5000 m, wo eine beträchtliche tägliche Schwankung auftreten kann.

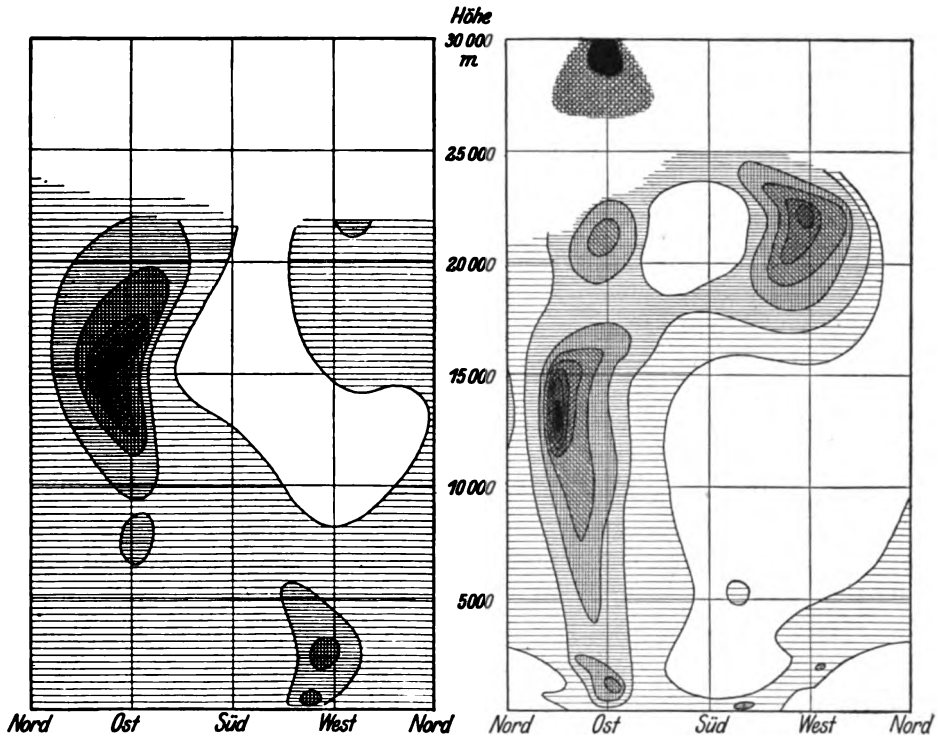
Reduzierte resultierende Windgeschwindigkeit in Meter per Sekunde, 7—8 h a. m.

Höhe in Kilometer	Oktober November	Dezember Januar Februar	März April	Mai Juni	Juli August September	Reduktions- faktor
½	1,3	3,3	1,4	2,6	3,1	0,87
1	1,0	3,6	1,5	2,2	3,9	0,83
1½	1,4	3,2	1,5	1,7	3,6	0,79
2	1,6	3,1	1,5	1,4	3,2	0,75
2½	1,1	2,7	1,1	1,4	2,5	0,71
3	0,9	2,2	1,7	1,5	2,0	0,67
3½	1,3	1,9	1,7	1,4	2,2	0,64
4	1,3	1,4	1,9	1,7	2,4	0,61
4½	1,2	0,9	1,2	2,2	2,4	0,58
5	0,9	0,7	1,4	2,2	2,3	0,55
5½	0,8	0,3	0,7	2,5	2,6	0,53
6¼	1,1	0,3	0,3	2,2	3,1	0,48
7¼	1,0	0,8	0,3	2,1	3,4	0,43
8¼	0,8	1,3	0,9	2,1	3,3	0,39
9¼	0,8	1,1	0,6	1,9	3,3	0,36
10¼	0,8	1,2	0,6	1,4	3,5	0,32
11¼	—	—	—	—	3,7	0,29
12¼	0,9	1,3	1,4	1,2	4,0	0,25
13¼	1,7	2,2	1,4	1,3	4,1	0,22
14¼	—	—	—	—	3,7	0,20
15¼	1,9	2,2	0,9	1,0	2,8	0,18
16¼	—	—	—	—	1,4	0,16
17¼	2,2	1,1	0,1	0,6	0,5	0,14
18¼	—	0,4	—	—	0,4	0,12
19¼	—	—	—	—	0,8	0,10
20¼	—	—	—	—	0,4	0,08
21¼	—	0,2	—	—	0,2	0,06
22¼	—	—	—	—	0,4	0,05
23¼	—	—	—	—	0,4	0,04
24¼	—	—	—	—	0,2	0,04

In beiden obigen Tabellen sind die Hauptluftströmungen durch Umrahmungen hervorgehoben und ihre Bennennungen am Rande eingeschrieben worden; es läßt sich jedoch eine bessere Beschreibung geben, wenn gleichzeitig die Isoplethendiagramme der reduzierten und unreduzierten relativen Richtungsgeschwindigkeiten in Betracht gezogen werden. In Figur 11 sind nur diejenigen für die Jahresabschnitte mit ausgesprochenen Monsunen wiedergegeben, also für die Monatsgruppen Dezember—Februar und Juli—September, da in diesen Diagrammen die Hauptströmungen sich bildlich scharf hervorheben, während diejenigen für die anderen Monatsgruppen den Übergang durch Verflachung, Erweiterung und Mischung dieser Bilder anzeigen.

Dezember—Februar.

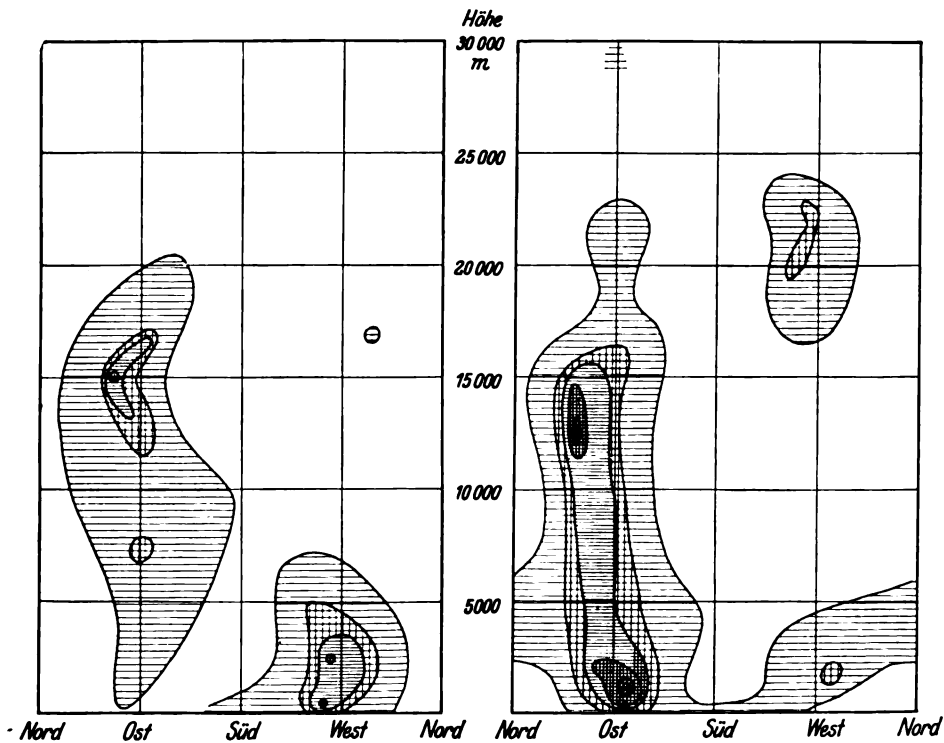
Juli—September.



Relative Richtungsgeschwindigkeit (m. p. sec.).

Dezember—Februar.

Juli—September.



Reduzierte relative Richtungsgeschwindigkeit (m. p. sec.).

Fig. 11. Verteilung der Hauptluftströmungen über Batavia.

Das einfachste Bild ergibt sich in den Monaten Juli bis September, also im südlichen Winter, wenigstens was den untersten Teil der Atmosphäre bis ca. 15 km Höhe anbelangt; denn hier herrschen während dieser Jahreszeit fast ausschließlich die östlichen Winde vor. Für die unteren Regionen haben sie eine südliche Komponente und sind als Südostpassat zu betrachten; für die oberen Schichten jedoch dreht sich die Richtung allmählich nach Norden, und die Luft strömt deshalb vom Äquator weg.

Im Passat tritt ganz unten die Landbrise und weiter oben bis 3000 m die zurückkehrende Seebrise auf. Diese Brisen sollen in einem folgenden Paragraphen näher betrachtet werden.

Im südlichen Winter verdrängt der Westmonsun den Passat und weht in Höhen bis zu 5000 und 6000 m mit einer Geschwindigkeit, die jener der Passate nur wenig nachsteht. Die mittlere Höhe des Westmonsuns war schon früher aus den Beobachtungen von Vulkanrauch bekannt. So wußte man, daß die regelmäßig von dem 3600 m hohen Smeroe in Ostjava ausgestoßenen Rauchwolken, die mit enormer Geschwindigkeit bis ca. 6000 m aufwirbeln, auch im Westmonsun nach Westen abtreiben.

Die Pilotballonaufstiege haben uns aber gelehrt, daß die Westwinde bisweilen bis zu größeren Höhen, 10 000, 11 000 und 12 000 m, reichen, wie dies auch vom Isoplethendiagramm angezeigt wird.

Oberhalb des Westmonsuns treten bis zu durchschnittlich 10 000 m Höhe südöstliche Winde auf; es macht also den Eindruck, als ob der Passat vom Westmonsun nach oben verdrängt wäre. Nur ist es auffallend, daß auch in den Monaten Juli—September die nördlichen Komponenten des Antipassats in diesen Höhen stark abnehmen. So dreht die Richtung des resultierenden Windvektors von E 21° N in 5500 m bis E 5° N in 7000—8000 m Höhe, um weiter oben wieder nach NE zurückzudrehen und bei 13000 m mit E 25° N die größte Abweichung von Osten zu erlangen

Oberhalb 10 000—11 000 m weht das ganze Jahr hindurch der Antipassat, nur schwächt er während der Übergangszeiten stark ab. Am kräftigsten tritt er in den Monaten Juli—September auf, wenn die Sonne weit nördlich von Batavia steht; dagegen weht er in den Monaten des südlichen Sommers, wenn die Sonne südlich von Batavia steht, mit geringerer Geschwindigkeit (12,2 gegen 18,6 m/sec.), wobei die größte Geschwindigkeit in kleineren Höhen erreicht wird. Ebenfalls ist es auffallend, daß die größten Geschwindigkeiten bei solchen Richtungen vorkommen, die am meisten von der Ostrichtung abweichen; von Juli—September fällt die maximale Geschwindigkeit von 18,6 m/sec. in 13 250 m Höhe zusammen mit der maximalen Abweichung E 25° N, und von Dezember—Februar findet sich dies bei 15 250 m Höhe für die Richtung E 27° N und die Geschwindigkeit 12,2 m/sec.

Das Isoplethendiagramm der relativen Richtungsgeschwindigkeiten zeigt in sehr anschaulicher Weise den Antipassat als eine absonderliche Luftströmung mit einem Maximum und läßt auch das Zusammenfallen dieses Maximums mit der größten Abweichung von der Ostrichtung deutlich sehen.

Die gedrängte Lage der Isoplethen spricht dafür, daß der Passat mit großer Regelmäßigkeit und beständiger Richtung auftritt, wie dies denn auch fast bei jedem hohen Aufstiege beobachtet wurde.

Jede Höhengschwankung des Antipassatkernes wird offenbar auch von den Cirren mitgemacht; denn für ihre mittlere Höhe wurde in den Monaten Oktober 1896 bis April 1897 12 000 m gefunden, dagegen in der folgenden Jahreszeit (April—September) nur 10 800 m.

Die Richtung des Windes ist in letzterer Höhe nach obiger Tabelle für den resultierenden Windvektor E 16° N und für die andere Jahreszeit bei 12 000 m E 4° N, zeigt also eine kleinere Abweichung nach Norden. Hiermit stimmen auch die mittleren Richtungen des Cirruszuges (Ci und Ci-St) überein, wie sie aus den während der Jahre 1907—1911 in Batavia angestellten Beobachtungen folgen, nämlich:

Oktober—November	E 22° N
Dezember—Februar	E 1° N
März—April	E 16° N
Mai—Juni	E 28° N
Jul—September	E 25° N

Nördlich vom Äquator treten, wie die Beobachtungen des Cirruszuges in Manila anzeigen, südliche Windkomponenten auf. Es muß also eine Luftquelle da sein, um die Antipassate zu speisen, und diese Quelle finden wir bekanntlich in der aufsteigenden Luft.

Betrachten wir nun aber das Isoplethendiagramm der reduzierten relativen Richtungsgeschwindigkeiten, so fällt es auf, daß zwar die maximalen Luftversetzungen für die mittleren Richtungen der unteren und oberen Luftströmungen wenig voneinander verschieden sind, daß aber die ganze Masse der vom Äquator abwärts fließenden Luft während der Monate Juli—September oben größer ist als unten, dagegen in den Monaten Dezember—Februar sich oben wie unten ziemlich gleichbleibt.

Dies ließe sich folgendermaßen erklären. Im südlichen Winter liegt der thermische Äquator, folglich auch die ergiebigste Quelle für die aufsteigende Luft, weit nördlich von Batavia; dagegen ist die Lage dieses Äquators im südlichen Sommer nicht weit von unserem Beobachtungsort entfernt. Das Quellenareal, welches nördlich von Batavia liegt, muß also auch viel kleiner sein, ebenso das Übermaß der obigen äquatorabwärts fließenden Luftmasse.

Versiegt die Quelle aufsteigender Luft ganz, so hört auch die *causa movens* der Antipassate zu bestehen auf; die Antipassate müssen also bei zunehmender Höhe zu gleicher Zeit mit dem Erreichen der oberen Grenze der Troposphäre ein Ende finden, ist doch gerade die Troposphäre nach den Angaben des Urhebers dieses Wortes, Teisserenc de Bort, jener Teil der Atmosphäre, wo auf- und absteigende Luftströmungen stattfinden.

Diese obere Grenze der Troposphäre wird sehr scharf von den Temperaturen angegeben, da in dieser Sphäre die Temperatur von unten nach oben zu sinkt, bei der oberen Grenze jedoch diese Abnahme aufhört und Isothermie eintritt. Den oberen Teil der Atmosphäre, wo keine vertikalen Luftströmungen auftreten, und der eine blättrige Struktur hat, nannte Teisserenc de Bort die Stratosphäre.

Wir müssen deshalb erwarten, daß auch der Antipassat bei jener oberen Grenze aufhört. Tatsächlich stimmt das auch mit den Beobachtungen ziemlich gut überein, fand ich doch für die verschiedenen Höhen folgende Werte, die leider für die Temperaturgrenze noch unsicher sind:

	Höhe, in der die Isothermie anfängt	Obere Grenze des Antipassates
Oktober—März	ca. 16 700 m	ca. 17 500 m
April—September	„ 15 900 „	„ 16 500 „

Wir haben aber als Quelle nur an die aufsteigende Luft gedacht; es ist aber möglich, daß auch sinkende Luft die Antipassate speist, und daß die Luftbewegung eine so schwache vertikale Komponente hat, daß der Einfluß auf die Temperierung der Stratosphäre nur klein ist.

Es ist aber auch außerordentlich wahrscheinlich, daß oberhalb des Antipassats die Luft dem Äquator wieder näher tritt und dabei abwärts fließt.

Berechnen wir mittels der mittleren Temperaturen in den verschiedenen Höhen die Lage der isobarischen Flächen, so finden wir, daß sie sich in Höhen oberhalb ca. 17 000 m wieder nach dem Äquator hin senken. Es wird dies durch den Umstand bedingt, daß die Temperatur am Äquator in Höhen, wo nördlich und südlich davon bereits Isothermie eingetreten ist, noch weiter sinkt und die Isothermie erst weiter oben bei noch größerer Kälte erreicht wird. Es muß sich also oberhalb des Antipassats wieder eine äquatorwärts gerichtete Luftströmung zeigen; und wirklich haben die Beobachtungen bewiesen, daß in diesen Höhen südöstliche Winde auftreten.

Die verschiedene Temperierung der Atmosphäre in den zwei Jahreszeiten, die unten näher besprochen werden wird, bedingt nun aber eine gleichartige Neigung der isobarischen Fläche, die in der Regenzeit verstärkend, in der Trockenzeit jedoch abschwächend wirkt. Tatsächlich zeigten sich diese südöstlichen Winde in den Monaten Juli—September nur schwach, und zwar fast nur zwischen 16 000 und 15 000 m, dagegen in Dezember—Februar in stärkerem Maße und bis zu größeren Höhen.

Damit in Übereinstimmung ergibt die Tabelle der resultierenden Windvektoren für den Jahresabschnitt Juli—September bei einer Höhe von 17 250 m die Richtung E 40° S und die Geschwindigkeit 3.5 m/sec.; auch die Isoplethen der relativen Richtungsgeschwindigkeit weichen in diesen Höhen stark nach Süden ab.

Analog mit den unten gleichfalls äquatorwärts wehenden Passaten nannte ich diese hohe Luftströmung den Oberpassat, dabei die Hoffnung hegend, daß ein geeigneter Name förderlich für das Anstellen weiterer Beobachtungen und das Aufstellen von Erklärungen sein könnte. Denn bis jetzt sind es nur die relativ wenigen in Zentralafrika und Batavia angestellten Beobachtungen, die vom Bestehen derartiger Winde Kunde gegeben haben, während es doch für eine einwandfreie Erklärung unbedingt nötig ist, auch über Beobachtungen aus anderen äquatornahen Erdteilen verfügen zu können.

Es ist möglich und meiner Meinung nach nicht unwahrscheinlich, daß über Java dieser Oberpassat von lokalen Einflüssen gestört wird, wenigstens im südlichen Winter.

Albert Peppler¹⁾ hat im Jahre 1911 aus den Temperaturergebnissen der aerologischen Expedition im Atlantik als erster den Druck für Tropen, Subtropen und Extropen bis zu großen Höhen berechnet und gefunden, daß das Druckgefälle zwischen Tropen und Subtropen im Sommer auf der nördlichen Hemisphäre bei 12 000 m seinen Höchstwert erreicht, bei weiterer Höhe kleiner wird und bei 25 000 m das Vorzeichen wechselt. Erst oberhalb dieses Niveaus wäre dann der Oberpassat zu finden.

Tatsächlich habe ich in Batavia während der korrespondierenden Jahreszeit, also während des südlichen Winters, beobachtet, daß oberhalb 24 000 m die Winde, welche von 18 000 m an als Westwinde auftraten, wieder östlich wurden, aber sowohl süd- als auch nordöstliche Richtung hatten.

Das Auftreten westlicher Winde in so großen Höhen wurde zuerst von Berson in Zentralafrika und nachher auch von mir in Batavia beobachtet. Die Aufstiege des letzten Jahres haben sogar gezeigt, daß sie im südlichen Winter mit großer Beständigkeit wehen, wie das auch aus dem Isoplethendiagramm für die Monate Juli—September hervorgeht, da die Isoplethen in 22 000 m Höhe ziemlich gedrängt einen Focus umkreisen. Die Tabelle der resultierenden Windvektoren zeigt in Übereinstimmung damit Richtungen zwischen $W 30^{\circ} N$ und $W 23^{\circ} S$ und Geschwindigkeiten von 3,1 m bis 9,9 m/sec.

In den Monaten Dezember—Februar sind diese westlichen Winde viel seltener von mir aufgefunden worden, wie aus dem betreffenden Isoplethendiagramm recht deutlich zu ersehen ist; aber die Beobachtungen sind spärlicher als während der anderen Jahreszeit und reichen nicht so hoch.

Für einen etwaigen Erklärungsversuch fehlt es also noch an der erforderlichen Kenntnis der Tatsachen, und es kann deshalb nur bei Vermutungen bleiben.

Durchaus sicher ist es aber, daß der Antipassat durch die von der Erdrotation bedingte Ablenkung schon in niedrigen Breiten westliche Richtung annimmt, und daß auch in außertropischen Gebieten eine allgemeine westliche Luftströmung vorherrscht. Nicht unmöglich ist es nun, daß die nahe dem Äquator beobachteten hohen Westwinde mit diesen beiden großen um die Erdpole kreisenden Wirbeln in Zusammenhang stehen.

Bei zwei hohen Pilotaufstiegen im April 1912 ließ sich feststellen, daß die Westwinde selbst noch höher als bis 25 000 resp. 27 000 m reichten; aber bei vier Aufstiegen wurde die obere Grenze gefunden, einmal im Januar bei ca. 23 000 m und dreimal im September bei ca. 24 000 m.

Oberhalb dieser Höhen zeigten sich wieder nordöstliche bis südöstliche Winde, die bei wachsender Höhe an Geschwindigkeit zunahmen. Bei dem höchsten Aufstieg, welcher bis 30 800 m reichte, traf ich von 28 500 m an bis zur Zerplatzhöhe starke Winde von 20—40 m/sec. Geschwindigkeit und nahezu östlicher Richtung.

Es war dieser Wind wohl derselbe, welcher im Jahre 1883 in so unerwarteter Weise seine Anwesenheit kundgab, als nämlich die mit enormer Geschwindigkeit aus dem Schlunde des Krakatau emporgeschleuderte Asche die Erde einige Male

¹⁾ Temperatur- und Druckgefälle in großen Höhen. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre 4, S. 13.

umkreiste. Aus den optischen Erscheinungen wurde damals mit Gewißheit nachgewiesen, daß diese Umkreisung mit einer konstanten Geschwindigkeit von 34 m/sec. in einer Höhe von ca. 30 000 m erfolgt ist. Weiter kann man aus der Tatsache, daß die ganze Erde umkreist wurde, und zwar sogar öfter hintereinander, schließen, daß dieser Wind stetig dasein muß, wenigstens um jene Jahreszeit, und daß also bei meiner Beobachtung am 12. September dieselbe Luftströmung angetroffen sein muß.

Ich möchte sie darum den **Krakatau-Wind** nennen, obwohl es sich schließlich herausstellen dürfte, daß sie von den Oberpassaten herrührt.

Das bei dem hier erörterten Aufstiege vom 12. September beobachtete Windsystem will ich besonders mitteilen, nicht allein, weil es bis jetzt meinem Wissen nach bezüglich seiner Höhe einzig dasteht, sondern auch, weil es ein so treffendes Beispiel ist für die Art und Weise, in welcher sich die verschiedenen Luftströmungen übereinander lagern.

Winde beobachtet am 12. September 1912.

Höhe in km	Richtung	Ge- schwindig- keit m. p. Sek.	Namen der Luft- strömung	Höhe in km	Richtung	Ge- schwindig- keit m. p. Sek.	Namen der Luft- strömung
0,2	S	5	Landbrise	17,5	E 42° S	7	Oberpassat
0,5	E 15° S	3	Passat	18	S 8 W	1	
2,5	E 15 S	6		Hohe Westwinde	19	W 17 S	10
3	E 4 N	7	20		W 12 S	12	
4	E 13 N	6	21	W 13 N	11		
5	E 15 N	6	22	W 30 N	16		
6	E 20 S	9	23	W 7 S	12		
7	E	7	24	S 9 E	8		
8	E 42 N	12	25	N 9 E	5	Oberpassat	
9	E 25 N	17	26	E 20 N	7		
10	E 8 N	11	Antipassat	27	E 43 N	9	
11	E 18 N	14		27,5	E 28 N	9	
12	E 57 N	13	28	E 2 S	11		
13	E 47 N	16	28,5	E	22		
14	E 28 N	23	29	E 21 S	19		
15	E 21 N	19	29,5	E 6 N	40		
16	E 54 N	13	30	E 8 N	33	Krakatau- Wind.	
17	E 29 N	9	30,5	E 9 N	34		

Tägliche Schwankung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen.

Seit langem hatte man aus Windbeobachtungen an Bergstationen und aus Wolkenzugmessungen Kenntnisse gesammelt über die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe und über die tägliche Schwankung der Geschwindigkeit in verschiedenen Höhen, sowie über die Erscheinung der Land- und Seebrise; aber

Mittlere resultierende Geschwindigkeit des Windes in Meter per Sekunde an drei Tageterminen in verschiedenen Höhen.

Höhe in Meter	Nördliche Komponente			Östliche Komponente		
	7—8 h a. m	2½—3 h p. m	7—8 h p. m	7—8 h a. m	2½—3 h p. m	7—8 h p. m
20	—0,3	2,1	—0,7	0,1	1,5	0,2
100	—1,9	4,0	0,4	1,5	0,9	2,0
200	—1,1	4,4	3,6	2,9	1,9	3,2
300	—0,7	4,0	2,3	3,5	2,3	4,7
400	—0,6	4,1	2,7	3,7	2,7	4,2
500	—0,1	3,3	2,3	4,0	3,5	4,8
600	—0,4	2,7	2,2	4,8	4,0	4,9
700	—0,4	2,5	0,7	5,4	3,6	4,2
800	—0,7	1,2	0,1	5,8	4,1	4,0
900	—0,5	0,6	—0,5	6,2	3,8	3,3
1000	—1,0	—0,1	—1,0	5,4	4,2	2,8
1100	—0,5	—0,3	—1,0	5,5	4,1	2,5
1200	—0,7	—1,0	—1,4	6,0	4,1	2,8
1300	—0,2	—0,7	—1,8	5,6	4,2	2,6
1400	—0,2	—1,4	—1,8	5,2	3,4	3,0
1500	—0,1	—1,7	—2,0	4,8	3,5	3,1
2000	0,1	—1,4	—2,0	4,3	3,4	4,1
2500	0,1	—0,8	—1,0	4,1	2,9	4,0
3000	0,4	0,2	0,1	3,0	2,2	5,0
3500	0,3	0,2	—1,4	3,7	2,7	5,3
4000	0,5	1,0	—0,9	3,8	3,8	5,9
4500	1,0	0,6	—1,5	4,2	5,5	7,2
5000	0,3	—0,1	—0,9	4,2	6,4	7,1
5500	0,0	—0,2	1,2?	5,6	5,8	6,9?
6000	0,5	2,6	1,0?	6,4	5,5	10,2?
6500	0,5	2,1	2,5?	7,1	6,5	6,8?
7000	0,8	2,2	—	6,8	4,9	—

erst nach der Einführung der Fessel- und Pilotenballone war eine vollständige Untersuchung möglich.

Der Erscheinung der täglichen Schwankung von Windgeschwindigkeit und -richtung in verschiedenen Höhen wird man ungestört nur über ausgedehnten, meerentfernten Ebenen begegnen, dagegen wird man sie im meeresnahen Batavia gemischt mit der Land- und Seebrise vorfinden. Glücklicherweise stehen aber die Richtungen der Hauptluftströmungen, des Ost- und Westmonsuns, fast senkrecht auf denen der Land- und Seebrise, so daß es möglich sein wird, die zwei Erscheinungen zum größten Teile von einander getrennt zu halten.

Selbstverständlich ist die Trockenzeit, während welcher stetige östliche Winde wehen und Land- und Seebrise sich ungestört bilden können, am meisten geeignet für eine derartige Untersuchung. Es wurde zuerst der Plan gefaßt, wiederholt während 24 Stunden eine Reihe von Pilotaufstiegen zu machen; aber es stellte sich schon bei dem ersten Male heraus, daß dieses Verfahren zu beschwerlich sei, so daß vorläufig die Einhaltung von drei Terminen gewählt wurde. Als erster Termin

konnte die frühe Morgenstunde (7—8 Uhr a. m.), wenn die Erwärmung des Erdbodens durch die Sonne gerade beginnen will, festgesetzt werden, als zweiter die Zeit von 2½—3 Uhr p. m., wenn der Seewind kräftig weht und die Tagescumuli sich aufzulösen anfangen, so daß die Möglichkeit besteht, den Ballon bis zu größeren Höhen zu verfolgen. Wäre z. B. 1 Uhr p. m. als Terminstunde gewählt worden, so würden die Ballone meist schon bei ca. 1000 m Höhe verloren gegangen sein. Auch kann man um halb drei nachmittags schon besser beurteilen, ob der Himmel sich aufheitern und der Abend auch ungestört bleiben wird. Der letzte Termin war 7—8 Uhr abends, also ca. 12 Stunden nach der Morgenbeobachtung; es war aber nicht immer möglich, die Aufstiege an drei einander folgenden Terminen vorzunehmen.

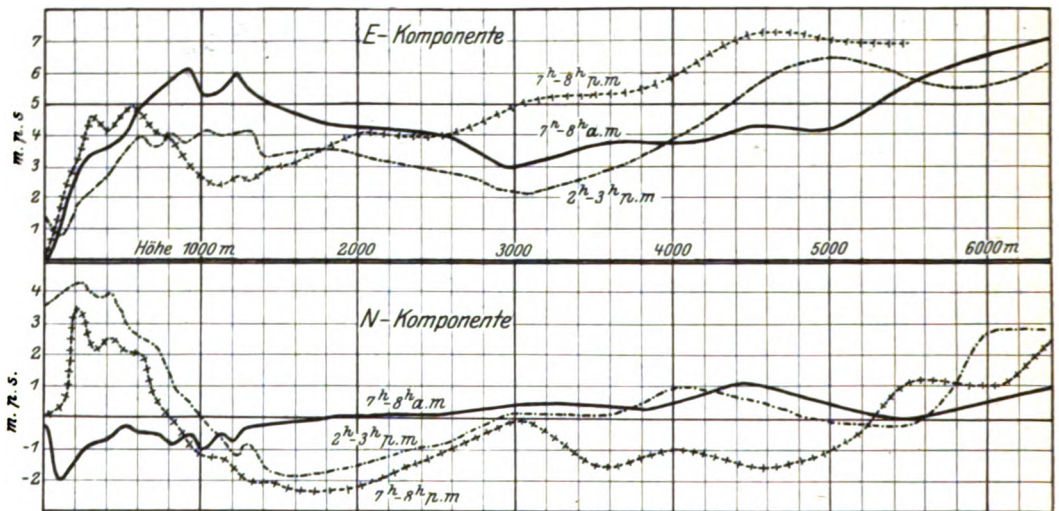


Fig. 12. Komponenten der Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen.

Zwar haben die verschiedenen Schwierigkeiten, die sich den Aufstiegen und Doppelvisierungen entgegenstellten, die Zahl der in der verflorenen Trockenzeit gelungenen Aufstiege beschränkt, aber die Ergebnisse geben trotzdem ein deutliches Bild vom Verlauf der Erscheinungen, welches am besten beschrieben und erklärt werden kann an Hand der Tabelle auf S. 35 und obiger Kurventafel, in welchen die mittleren Geschwindigkeiten der Ost- und Westkomponenten des Windes in verschiedenen Höhen dargestellt sind.

Wir sehen, wie um 7—8 Uhr a. m., wenn die tägliche Störung, welche die Sonnenstrahlung erregt, noch nicht angefangen hat, die östliche Geschwindigkeit unten durch die Bodenreibung fast aufgehoben ist, jedoch mit zunehmender Höhe rasch ansteigt und bei 900 m schon 6,2 m/sec. erreicht; in einer Höhe von mehr als 3000 m erniedrigt sie sich wieder, um noch weiter oben wieder anzuwachsen, jedoch mit einem schwachen sekundären Minimum in 5000 m Höhe.

Während der nun folgenden Stunden des Morgens und Mittags findet durch die Insolation eine Verklammerung der oberen und unteren Luftschichten mittels

auf- und absteigender Luftfäden statt, und hierbei erreicht den Boden nur Luft von oben; die Geschwindigkeit wächst dadurch unten an. In 1000 m Höhe jedoch bringen sowohl aufsteigende wie absteigende Strömungen Luft mit kleinerer Geschwindigkeit an, und die Windgeschwindigkeit wird folglich in dieser Höhe abnehmen. Das Diagramm zeigt, wie der Übergang von Zunahme zu Abnahme schon in ca. 100 m Höhe stattfindet, was wohl von der Bodenreibung herrührt.

Es gibt aber noch eine Ursache, welche bedingt, daß die östlichen Windkomponenten sich mittags verstärken; um diese Zeit treibt nämlich die Seebrise dem Lande Luft zu, welche zuvor über dem Meere nur wenig durch Reibung gebremst war und deshalb größere östliche Geschwindigkeiten hatte und diese mit sich bringt.

Später am Tage verliert die Insolation ihre Kraft, das Spiel der auf- und abgehenden Luftströmungen hört auf, die Bodenreibung bleibt aber; die Geschwindigkeit sinkt folglich abends unten wieder fast auf Null herab. Oben jedoch hat die Wirkung länger angehalten, die Verringerung der Geschwindigkeit, welche sich gegen 2—3 Uhr p. m. zeigte, hat sich jetzt bis zu einem sekundären Minimum verstärkt. Auch höher bei ca. 3000 m hält die Wirkung an, muß aber in diesen Schichten entgegengesetzt auftreten; denn alle Luft, die von oben oder unten herankam, bringt eine größere Geschwindigkeit mit sich. Es zeigt sich demgemäß am Abend in dieser Höhe ein Maximum, wo morgens und mittags ein Minimum gefunden wurde. Möglicherweise wird aber in diesen Höhen das Auf- und Absteigen der Luft nicht durch die Bodenerwärmung verursacht, sondern die Kondensationswärme des Wasserdampfes ist die *Causa movens*.

Land- und Seebrise.

Wie oben bemerkt wurde, muß das Diagramm der Nord- und Südkomponente des Windes der Hauptursache nach eine Vorstellung des Verhaltens von Land- und Seebrise in verschiedenen Höhen geben. An den Beobachtungstagen war die Bewölkung gering und die Insolation groß; folglich konnten sich Land- und Seebrise, die von der ungleichen Erwärmung und Abkühlung von Land und Meer herrühren, ungestört entwickeln.

Das Diagramm zeigt, wie am Morgentermin die Landbrise weht, und zwar unten infolge der starken Bremsung über dem Lande sehr schwach, in der ersten Höhenstufe — 100 m — aber bereits mit maximaler Geschwindigkeit. Im ganzen ist die Landbrise sehr schwach, denn auch diese maximale Geschwindigkeit beträgt nur 2 m/sec. Am Observatorium, das 7 km vom Meere entfernt liegt, kommt die Seebrise gewöhnlich erst gegen Mittag durch und erreicht zwischen 2 und 3 Uhr nachmittags ihre größte Entwickelung mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 3,5 m pro Sekunde. Bis 200 m Höhe wächst diese Geschwindigkeit nur um 1 m/sec. an; es ist deshalb klar, daß die Verklammerung der Luftschichten bereits vorher tätig war.

Ganz wie oben für die Ost-West-Komponente gefunden wurde, sinkt am Abend die Geschwindigkeit sehr stark, während sie oben in einigen Hunderten von Metern nur um 1 m/sec. abgenommen hat; es scheint also, daß der Druckgradient sich nur

wenig verringert, aber die Verklammerung aufgehört hat, so daß die Bodenreibung ihren Einfluß ungehindert ausüben konnte.

Im Diagramm tritt sehr deutlich zutage, daß sich in ungefähr 1000 m Höhe der Druckgradient umkehrt, denn in größeren Höhen trifft man die zurückkehrende Brise an. Es fällt aber auf, daß die obere landwärts wehende Brise äußerst schwach ist. Doch glaube ich, daß dies nur scheinbar der Fall ist, da sie vermutlich von der südlichen Komponente des Ostmonsuns zum größten Teil aufgehoben wird. Diese Komponente ist zweifellos vorhanden, nur wurde sie bei meiner Diskussion ausgeschaltet.

Auch ersieht man aus dem Diagramm, daß die rückkehrenden Winde sich bis zu 3000 m Höhe ausdehnen.

Wenn man einen Überschlag über die Luftversetzung macht, so kommt man zu merkwürdigen Ergebnissen; denn es stellt sich heraus, daß am Mittag durch eine vertikale Fläche von 1 m Breite und 1000 m Höhe 2600 m³ Luft (von 0° C und 760 mm Druck) landwärts fließen und oben bei 1000—3000 m Höhe durch eine solche Fläche nur 1300 m³ seewärts zurückkehren. Hingegen strömen abends unten bis zu 800 m Höhe 1200 m³ seewärts und oben bis 3000 m Höhe 2100 m³ landwärts. Dies ist nur erklärlich, falls es eine von Land- und Seebrise unabhängige Komponente gibt, welche mittags aus dem Norden und abends aus dem Süden weht. Nun naht aber bei seinem Lauf um die Erde das halbtägliche Barometerminimum am Mittag im Osten und am Abend (auch im Osten) dem ihm folgenden Minimum, so daß es nicht unmöglich ist, daß diese Annäherung von dem Auftreten nordwestlicher resp. südöstlicher Winde begleitet ist.

Am Mittag genügt eine Nordkomponente von nur 0,4 m/sec., um den Transport oben und unten gleich zu machen; und nimmt man, wie im vorigen Paragraphen erwähnt wurde, eine Südkomponente des Ostmonsuns an, so kommt ca. 0,6 m/sec. heraus.

Für den Landwind bleibt zu der Terminstunde 8 a. m. die Unsicherheit infolge seiner Schwäche zu groß, um einen einigermaßen verlässlichen Überschlag zu machen. Auch Hann hat für einige Gipfel im südlichen Vorderindien eine Windkomponente mit einer halbtäglichen Periode gefunden und konnte diese fast mit Gewißheit der zweimal täglich stattfindenden Schwankung des Luftdruckes zuschreiben. Ihre Amplitude fand er zu ca. 0,8 m/sec., also von derselben Ordnung wie die oben angeführte Windkomponente.

Ich muß aber betonen, daß meine Ergebnisse wegen des geringen Beobachtungsmaterials nur vorläufiger Natur sind, und die Folgerungen à plus forte raison diesen Charakter tragen.

An allen Küsten und besonders im Archipel benutzen die Fischer die Land- und Seebrise, indem sie am frühen Morgen mit der Landbrise ins Meer hinaus segeln und mittags mit der Seebrise heimkehren.

Weiland Rambaldo meinte, daß auch der Luftschiffer diesem Beispiele müßte folgen können, und machte zur Probe am 16. Mai 1910 eine merkwürdige Fahrt von Batavia nach der 19 km von der Küste entfernt liegenden kleinen Insel Edam. Man passierte in 520 m Höhe die Küste, und nach anderthalb Stunden tauchte das Schleppeil nahe der Insel ins Meer ein. Da stand der Ballon zuerst

völlig bewegungslos, aber die Rippelung des Wassers ließ erkennen, daß näher an der Küste bereits die Seebrise wehte. Dies ist wohl ein Ausnahmefall gewesen, da sich bekanntlich die Seebrise vom Meere zur Küste emporzuarbeiten pflegt. Nach zehn Minuten dehnte sich die Seebrise bis zur Stelle, wo der Ballon schwebte, aus; letzterer fing an landeinwärts zu treiben und passierte nach zwei und dreiviertel Stunden wieder die Küste.

Die Insassen beobachteten, daß sowohl bei der Ausfahrt als auch bei der Heimfahrt der Ballon sorgfältig die vielen kleinen Inseln mied, und dachten an eine Art Abstoßung, die diese Inseln infolge ihrer starken Erwärmung an jenem fast wolkenlosen Tagen ausübten. Dies wäre zu beweisen durch eine Nachtfahrt; denn alsdann müßte eine Anziehung erfolgen. Ob diese aber groß genug sein würde, um die Gefahr einer solchen Nachfahrt zu überwinden, ist sehr unwahrscheinlich. Bei jener Tagesfahrt hatte man sich durch Begleitung von einem Dampfer gegen Eventualitäten gesichert.

Temperatur.

Die Erforschung der Temperaturverhältnisse, welche in den verschiedenen Schichten der Atmosphäre vorherrschen, bewegt sich hauptsächlich in zwei Richtungen. In der ersteren studiert man die unteren Schichten, die von dem täglichen Temperaturwechsel des Erdbodens und der Berge beeinflusst werden, benutzt Drachen und Fesselballone als Forschungsmittel und stützt sich auf die Beobachtungen der Bergstationen. In der anderen Richtung dagegen sucht man die Temperatur und ihre Gradienten derart zu ermitteln, daß sie möglichst frei von Tageseinflüssen bleiben, und läßt zu diesem Zwecke bis zu den größtmöglichen Höhen meistens Registrierballone steigen, welche die aufeinander folgenden Höhenschichten mit Geschwindigkeiten von 5 m/sec. und mehr durchheilen.

In Batavia haben die Registrierballonaufstiege bis zur Mitte des Jahres 1911 durchschnittlich zwei Stunden nach Sonnenaufgang stattgefunden, nachher eine Stunde vor dem Aufgehen der Sonne, also immer um jene Tageszeit, wo sich die Atmosphäre von der durch die Insolation am vorigen Tage ausgeübten Störung wieder erholt hatte.

Nur an einigen wenigen Aufstiegstagen war das Wetter böig, an den weitaus meisten Tagen dagegen ruhig oder sogar heiter.

Bekanntlich entwickelt sich unter solchen Umständen eine Bodeninversion, und eine solche wurde bei fast allen Aufstiegen vor Sonnenaufgang aufgezeichnet. Ihre Größe war durchschnittlich nur ein oder zwei Grad, während ihre vertikale Ausdehnung ca. 500 m nicht überschritt; bei den Aufstiegen nach Sonnenaufgang war sie meist schon zur Isothermie abgeschwächt oder ganz verschwunden.

Was die mittleren Temperaturen in den verschiedenen Höhengniveaus betrifft, so ist zwar das gewonnene Beobachtungsmaterial noch nicht so reichhaltig, daß einwandfreie Durchschnittswerte daraus abgeleitet werden können, aber die geringe Veränderlichkeit der Temperaturverhältnisse in diesen Gegenden erlaubt es, aus wenigen Fällen verlässliche Mittel zu bilden. Aus den bis März 1912 erhaltenen Beobachtungszahlen folgten umstehende Temperaturen. Für die Höhe 10 m ist die mittlere Tagestemperatur von Batavia eingesetzt.

Mittlere Temperaturen in verschiedenen Höhen.

Höhe in Meter	Temperatur	Gradient pro 100 m	Höhe in Meter	Temperatur	Gradient pro 100 m
10	26,2 ^o	0,58 ^o	8 000	— 19,6 ^o	0,72 ^o
500	23,3	0,64	9 000	— 26,8	0,91
1 000	20,1	0,58	10 000	— 35,8	0,89
2 000	14,3	0,54	11 000	— 44,8	0,86
3 000	9,9	0,53	12 000	— 53,4	0,95
4 000	3,6	0,54	13 000	— 62,9	0,87
5 000	— 1,8	0,56	14 000	— 71,6	0,57
6 000	— 7,4	0,58	15 000	— 77,3	0,11
7 000	— 13,2	0 64	16 000	— 78,4	

Die Hauptzüge der vertikalen Temperaturverteilung treten aus obigen Zahlen deutlich hervor. Man sieht, wie der Gradient bei zunehmender Höhe anfänglich abnimmt, was von den Kondensationsvorgängen herrührt, und daß er folglich in jener Schicht, wo diese Vorgänge ihren Einfluß am kräftigsten ausüben, d. h. in 3—4000 m Höhe, ein Minimum erreicht. In noch größerer Höhe steigert sich die Temperaturabnahme und erreicht mit dem Wert 0^o,91 ein sekundäres Maximum bei 9—10 000 m. Noch weiter oben in einer Höhe von 10—11 000 m zeigt sich eine geringe Abnahme, und die Übereinstimmung dieser Höhe mit jener derjenigen Schicht, wo die in diesen Gegenden so häufigen Cirren schweben, macht es nicht unwahrscheinlich, daß die sekundäre Erwärmung jener Schichten von diesem Gewölk herrührt. Man könnte sich denken, daß sich die dünne Wolkenschicht wie das Fenster eines Treibhauses verhält. In Übereinstimmung damit nimmt oberhalb dieser Decke die Temperatur sehr rasch ab — fast wie adiabatisch sich ausdehnende trockene Luft —, aber noch weiter oben sinkt der Gradient und in ungefähr 16—17 000 m Höhe tritt die Isothermie der Stratosphäre auf.

Die Temperatur scheint eine jahreszeitliche Schwankung zu erleiden, denn in beiden Beobachtungsjahren erwies sich die Atmosphäre während der Regenzeit als etwas wärmer als in der Trockenzeit. Diese Temperaturdifferenz belief sich für das Jahr 1911/12 auf:

Höhe m	Δt	Höhe m	Δt	Höhe m	Δt	Höhe m	Δt
500	1,1 ^o	4000	0,2 ^o	8 000	2,4 ^o	12 000	3,4 ^o
1000	1,3	5000	1,1	9 000	1,4	13 000	2,0
2000	1,0	6000	2,0	10 000	3,1	14 000	2,2
3000	0,2	7000	1,5	11 000	3,4	15 000	— 0,2

Bezüglich der Temperaturabnahme ersieht man aus umstehender Zusammenstellung der Gradienten für beide Jahreszeiten, daß sie zwar in der Regenzeit für die untersten Schichten größer sind, aber das Minimum in einer 1000 m größeren Höhe erreicht wird. Man soll jedoch nicht aus dem Auge verlieren, daß auch während der Regenzeit die Ballone öfter bei heiterem Himmel aufgelassen wurden.

Temperaturgradienten.

Höhe in Kilometer	Trockenzeit April/Sept.	Regenzeit Okt./März	Höhe in Kilometer	Trockenzeit April/Sept.	Regenzeit Okt./März
0,5—1	0,62°	0,66°	8—9	0,72°	0,68°
1—2	0,56	0,60	9—10	0,92	0,85
2—3	0,51	0,57	10—11	0,95	0,83
3—4	0,58	0,48	11—12	0,85	0,87
4—5	0,56	0,52	12—13	0,88	1,02
5—6	0,59	0,53	13—14	0,91	0,73
6—7	0,58	0,57	14—15	0,48	0,66
7—8	0,75	0,63	15—16	0,13	0,19

In größeren Höhen übersteigen die Gradienten der Trockenzeit jene der Regenzeit. Auch das sekundäre Minimum bei ca. 11 000 m zeigte sich in beiden Jahreszeiten, nur lag es im südlichen Winter (Trockenzeit) 1000 m höher. Im Gegensatz hierzu scheint die Stratosphäre im südlichen Winter in niedriger Höhe anzufangen. Jedoch ist das Beobachtungsmaterial noch zu dürftig, um dies einwandfrei festzustellen, da nur der kleinere Teil der Ballone die untere Grenze der Stratosphäre überschritten und außerdem infolge Stillstehens der Uhren bei manchen dieser Fälle die Höhenbestimmung unmöglich wurde.

Die Fälle (resp. 7 u. 6), bei denen eine Bestimmung möglich war, geben folgende Mittelzahlen für die Höhe und alle Fälle (resp. 11 und 12) folgende mittlere Temperaturen:

	April—September	Oktober—März
Höhe	15 900 m	16 700 m
Temperaturen (alle Fälle)	— 78° 4	— 81°

Differenz der Extremtemperaturen in jedem Niveau.

Höhe in Kilometer	Trockenzeit	Regenzeit	Zahl der Fälle	
			Trockenzeit	Regenzeit
0,5	2,5°	7,1°	14	16
1	2,7	7,0	14	16
2	4,0	5,5	14	16
3	4,7	8,1	14	16
4	5,9	6,5	14	16
5	4,7	8,1	13	15
6	6,4	10,0	12	15
7	7,0	10,2	11	13
8	6,3	10,8	11	13
9	9,3	12,5	11	13
10	9,7	11,9	9	12
11	4,9	13,2	8	12
12	5,1	14,8	8	9
13	5,3	16,9	7	8
14	6,6	17,6	6	8
15	7,2	16,7	6	8
16	—	6,7	—	4

Die Temperatur sank bei einigen Aufstiegen zu erstaunlich tiefen Werten herab; der niedrigste, am 12. April 1912 mit -87° C registriert, dürfte wohl die bis jetzt tiefste der gemessenen atmosphärischen Temperaturen oder wenigstens eine der tiefsten sein.

Sehr wichtig ist auch die Kenntnis der äußersten Werte, zwischen denen sich die Temperatur in jedem Höhengiveau bewegt, und wenn es auch dafür nötig ist, über ein viel größeres Beobachtungsmaterial als das vorliegende zu verfügen, so gibt bereits die Zahlenreihe auf voriger Seite ein klares Bild der Verhältnisse wieder, welche morgens bei ruhigem Wetter herrschen. Die interdiurne Veränderlichkeit steigert sich also mit zunehmender Höhe, doch zeigen für die größeren Höhen

Mittelwerte.

Höhe in Hektometern	Batavia				Java- und Chinesische-See	
	West Monsun		Ost Monsun		Temperatur	Temperatur-abnahme pro 100 m
	Temperatur	Temperatur-abnahme pro 100 m	Temperatur	Temperatur-abnahme pro 100 m		
0	27,8 ^o	0,86 ^o	30,0 ^o	1,17 ^o	27,7 ^o	1,20 ^o
1	27,0	0,82	29,0	1,15	26,5	0,99
2	26,1	0,85	27,7	1,14	25,6	0,90
3	25,3	0,91	26,7	0,96	24,7	0,77
4	24,4	0,90	25,7	0,91	23,9	0,75
5	23,5	0,85	24,7	0,92	23,1	0,65
6	22,6	0,68	23,8	0,84	22,4	0,63
7	22,0	0,61	23,1	0,84	21,8	0,59
8	21,4	0,62	22,3	0,86	21,2	0,58
9	20,6	0,64	21,5	0,72	20,7	0,48
10	19,8	0,43	20,6	0,57	20,3	0,65
11	19,4	0,55	20,0	0,63	19,7	0,55
12	18,8	0,50	19,4	0,56	19,1	0,50
13	18,3	0,54	18,8	0,60	18,5	0,37
14	17,5	0,69	18,1	0,53	18,2	0,38
15	16,6	0,70	17,6	0,63	18,0	0,52
16	16,6	0,80	17,0	0,40	17,6	0,48
17	15,6	0,75	16,7	0,54	17,3	0,48
18	14,8	0,20	16,2	0,64	16,8	0,45
19	14,7	0,55	15,4	0,69	16,4	0,60
20	14,2	0,80	14,7	0,68	15,8	0,43
21	13,4	0,40	13,9	0,74	15,3	0,30
22	13,8	—	13,2	0,65	15,0	0,55
23	—	—	12,3	0,90	14,5	0,55
24	—	—	11,4	0,70	13,9	0,60
25	—	—	10,7	—	13,3	0,45
26	—	—	—	—	12,9	0,58
27	—	—	—	—	12,3	0,63
28	—	—	—	—	11,8	0,45
29	—	—	—	—	11,6	0,40
30	—	—	—	—	11,2	—

die zwei Jahreszeiten einen starken Gegensatz. In der Trockenzeit geht nämlich oberhalb von 10 000 m Höhe die Veränderlichkeit wieder zurück, dagegen wächst sie in der Regenzeit bis zu 14 000 m Höhe an.

Dieser Gegensatz rührt wohl außer von dem stärkeren Durcheinanderwirbeln der Atmosphäre während der Regenzeit daher, daß die Erdstrahlung, welche bekanntlich in wachsender Höhe immer mehr für die Temperatur der Schichten ausschlaggebend ist, in der Regenzeit mit ihren sich hoch auftürmenden Wolken veränderlicher ist als in der Trockenzeit.

Der andere Teil der Temperaturforschung, d. i. derjenige, welcher mit Hilfe von Drachen, Fessel- und Freiballonen erledigt wird, wurde von Dr. Braak geleitet. Er fand¹⁾ für die mittleren Temperaturen und Gradienten bis 2000 m Höhe nebenstehende Zahlen (Seite 42).

Wie zu erwarten war, folgt aus diesen Werten, daß während der heiteren Trockenzeit am Tage die Temperatur höher ist, und daß der für die untersten Schichten aus den Registrierballonaufstiegen abgeleitete Temperaturüberschuß der Regenzeit, wie bereits im vorigen Paragraphen erwähnt, nur für den Morgen gilt.

Über dem Meere war während der Regenzeit die Temperatur unten bis zu 800 m niedriger, oben etwas höher als über dem Lande. Ob dies in der Trockenzeit vielleicht noch ausgeprägter zum Vorschein kommt, wird bald aus den neuerdings erworbenen Beobachtungen hervorgehen.

Merkwürdig sind die Ergebnisse für den täglichen Stand der Temperatur in verschiedenen Höhen, woraus folgt, daß in 1000 m Höhe nur wenig mehr von der verhältnismäßig großen Schwankung an der Erdoberfläche übrig ist; man sehe sich nur untenstehende Zahlen an.

Temperaturen über Batavia.

Höhe in m	9 h a.	10 h	11 h	12 h	1 h p.	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	10 h
0	26,3°	27,6°	28,5°	29,1°	29,2°	29,2°	28,9°	28,5°	27,9°	27,1°	26,4°	25,8°	25,0°
500	22,4	23,4	23,5	24,1	23,5	23,6	24,2	23,6	22,6	23,7	22,4	24,1	23,9
1000	18,8	20,7	19,7	20,4	19,5	19,8	18,5	19,5	19,1	21,1	19,9	20,8	20,6
1500	—	18,1	16,3	17,9	16,7	17,2	—	16,0	15,8	18,1	16,6	—	—
2000	—	15,2	—	15,4	13,0	14,3	—	—	—	15,1	13,2	—	—
2500	—	—	—	11,5	—	—	—	—	—	12,4	—	—	—

In 500 m Höhe ist die anfängliche Zunahme der Temperatur bis zum Mittag hin noch ganz deutlich, ist aber schon von 2.⁰⁸ unten bis auf 1.⁰⁷ oben abgeschwächt; später am Tage ist eine regelmäßige Schwankung nicht mehr vorhanden. In 1000 m Höhe kommt die Temperaturzunahme am Morgen schon um 10 Uhr zum Stillstand, also zu der Zeit, wo in dieser Höhengschicht die Kumuli entstehen. Nachmittags macht sich eine deutliche Temperaturabnahme bemerkbar, welche aber nach Sonnenuntergang wahrscheinlich infolge Herabsinkens der Luft ins Gegenteil übergeht.

¹⁾ a. a. O., S. 21.

Wolkenbildung.

Die beständig hohe Temperatur, welche im Archipel herrscht, ermöglicht einen hohen Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre; und da die Quelle des atmosphärischen Wasserdampfes, das Meer, sich überall in großen Flächen zwischen den Inseln ausdehnt, ist es begreiflich, daß die Luft reich mit Wasserdampf gesättigt ist.

Dr. Braak¹⁾ fand für die relative Feuchtigkeit und den Wassergehalt der Luft bis 3000 m Höhe folgende Mittelwerte.

Höhe in Hekto- metern	Batavia				Java- und Chinesische- See	
	West Monsun		Ost Monsun		West Monsun	
	Relative Feuchtigkeit %	Wasser gr. pro m ³	Relative Feuchtigkeit %	Wasser gr. pro m ³	Relative Feuchtigkeit %	Wasser gr. pro m ³
0	75	20,0	63	18,9	80	21,2
1	77	19,8	64	18,4	82	20,6
2	79	19,5	66	17,9	84	20,3
3	81	19,2	67	17,3	86	19,9
4	83	19,2	70	17,4	86	19,3
5	85	18,9	75	17,8	89	19,4
6	87	18,5	72	16,4	88	18,6
7	86	17,8	75	16,6	88	18,1
8	84	17,2	76	16,4	87	17,5
9	84	16,5	78	16,2	83	16,4
10	84	15,9	79	15,7	82	16,0
11	81	15,3	79	15,4	82	16,5
12	78	14,4	80	15,2	80	14,1
13	77	13,8	79	14,6	78	14,9
14	82	14,3	79	14,3	78	14,2
15	82	13,7	79	14,0	76	13,7
16	82	13,8	79	13,6	77	13,8
17	81	13,1	77	13,3	76	13,5
18	81	12,6	79	13,3	75	13,1
19	80	12,5	78	12,6	75	12,9
20	80	12,2	79	12,5	76	12,9
21	80	11,8	78	11,9	76	12,6
22	78	11,9	79	11,6	75	12,3
23	—	—	86	12,2	74	11,9
24	—	—	86	11,6	74	11,7
25	—	—	84	11,0	74	11,4
26	—	—	—	—	73	11,1
27	—	—	—	—	73	10,8
28	—	—	—	—	73	10,5
29	—	—	—	—	75	10,8
30	—	—	—	—	75	10,8

¹⁾ a. a. O. S. 21.

Umstehende Zahlen geben eine Übersicht für diesen Feuchtigkeitsgrad und lassen erkennen, daß zwar bei wachsender Höhe die relative Feuchtigkeit anfänglich größer wird, daß aber der Wassergehalt dauernd abnimmt.

Aus den Ergebnissen der Registrierballonaufstiege berechnete ich folgende vorläufige Werte, die zwar noch nicht sehr zuverlässige Mittelwerte bilden, aber nichtsdestoweniger das Andauern der raschen Abnahme bei wachsender Höhe recht deutlich hervorheben.

Wassergehalt der Atmosphäre gr. pro m³.

Höhe in km	West Monsun	Ost Monsun
2	8,3	8,3
3	6,5	6,2
4	5,0	4,0
5	3,7	2,9
6	2,7	1,5
7	1,9	0,9
8	1,3	0,4
9	0,7	0,2

Beide Zahlenreihen zeigen auch das Übermaß in der Regenzeit, das für die unteren Schichten über dem Meere noch größer gefunden wird.

Die relative Feuchtigkeit erreicht in der Regenzeit schon in 500 m Höhe ihr Maximum, in der Trockenzeit jedoch erst in einer Höhe von über 2500 m.

Der große Feuchtigkeitsgehalt der Luft ermöglicht eine starke Wolkenbildung, sobald die Luft in aufsteigende Bewegung gerät, und da die Sonne bereits um 9 Uhr morgens die Höhe von ca. 45° überschreitet und nachher Höhen von 60° bis 90° erreicht und folglich auch den Erdboden rasch zu erwärmen vermag, beginnt bald ein kräftiges Aufsteigen der Luft.

In der Trockenzeit kann man diese regelmäßige Entstehung von Wolken und ihre Wiederauflösung am Nachmittage fast täglich beobachten. Dr. Braak schreibt darüber¹⁾:

„Wie ich auf der Ballonfahrt vom 25. Juni 1910, als der Ballon sich in einer Höhe von 2700—2900 m befand, sehr schön beobachten konnte, bildet sich erst über der ganzen Landstrecke eine Schicht von kleinen Kumuli. Nach einiger Zeit steigen an vereinzelt Stellen aus dieser Decke größere Wolken empor bis zu 2—3000 m Höhe. Sobald diese Maximalhöhe erreicht ist (es war damals ein relativ trockener Tag) fallen die Wolken mit einer Geschwindigkeit von 1—2 m p. s. zusammen und verschwinden rasch. Das Spiel wiederholt sich dann wieder in der Nähe. Bei dieser Bewegung ist zwar die abkühlende Wirkung im Aufstieg gleich dem erwärmenden Einfluß des Abstieges, die zusammenbrechende Luftsäule saugt aber fremde, relativ trockene Luft ohne Kondensationsprodukte aus der Höhe mit nach unten, welche sich adiabatisch (1° pro 100 m) erwärmt, sich mit der Luftmasse, die erst die Wolke bildete, mischt und nach Verschwinden derselben eine relativ warme Schicht über der Kumulusbasis zurückläßt.“

¹⁾ a. a. O., S. 27.

„Auch wurden mehrere Male plötzliche Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen entgegengesetzter Art beobachtet, die bei gleichbleibender Höhe des Instruments schnell vorüberzogen. Oft folgten mehrere dieser Störungen wellenförmig aufeinander. Sie sind wohl aufsteigenden Luftströmungen zuzuschreiben. Bei der regelmäßigen Aufeinanderfolge dieser Strömungen am 2. März war der Abstand der 8 Wellen untereinander 1200 m, was auch bei den kleinen Kumuli vorkommt. In diesem Falle waren keine Wolken sichtbar; es gibt aber auch Fälle, wo während der Störung der Drachen in eine Kumuluswolke gehüllt war.“

„Eigentümlich ist die Tatsache, daß bei diesen Störungen in weitaus den meisten Fällen, also auch in den in Bildung begriffenen Kumuluswolken, die Temperatur niedriger ist als in der umgebenden Luft, nicht nur in den Isothermien, welche oft von solchen Strömungen durchbrochen werden, sondern auch, wenn zuvor der Zustand normal war.“

„Da dieser niedrigeren Temperatur zufolge die aufsteigende Luft relativ schwer ist, kann man annehmen — um die steigende Bewegung zu erklären —, daß sie von den tiefer liegenden Teilen emporgehoben wird, wie es tatsächlich über den emporsteigenden Kumuluswolken an den Stellen, wo noch keine Kondensation eingetreten ist, der Fall sein muß. Größtenteils aber und bisweilen gänzlich wird die größere Dichtigkeit bei Temperaturerniedrigung kompensiert durch die Wirkung der starken Feuchtigkeitszunahme.“

„Unten sind zwei der tatsächlich beobachteten Anomalien wiedergegeben.

27. Januar 1910. 9^h 24 a. m. Drachen in Cu-Basis, 736 m.

9^h 26 a. m. Drachen aus Cu-Basis.

„Temperaturzunahme 9 h 27 von 20,5° bis 21,0° bei konstanter Höhe, 750 m, mit geringer Feuchtigkeitsabnahme.“

Gleiches um 9 h 35, Höhe 750 m, Temperatursteigerung von 20,6°—21,2°, Feuchtigkeit nimmt ab von 96%—78%, indem das Instrument nur 30 m sinkt. Auch treten zwei kurze Temperaturschwankungen (Periode 1 Minute) auf mit entsprechenden Feuchtigkeitsänderungen. Die doppelte Amplitude ist 1,2° und 15%. Um 10 h 40 wiederholt sich diese Erscheinung, Amplitude 1,0° und 10%, Höhe 1000 m. Während dieser Störungen ist die Temperatur niedriger, die relative Feuchtigkeit höher als im ungestörten Zustand vor- und nachher.“

„31. Januar 1910. Cu-Basis 10 h 30 a. m. 693 m.“

„Isothermie 10 h 39—11 h 10 zwischen 1030 und 1120 m, Temperatur 19,0°, relative Feuchtigkeit 10h43: 60% (ist schnell gesunken von 100% ab, 10h35, 700 m).“

„Zweimal, das erste Mal während der Isothermie, das zweite Mal beim Verschwinden derselben, wird sie durchbrochen von kalten und feuchten aufsteigenden Strömungen. Um 10 h 50, Höhe 1100 m nimmt, indem die Höhe nur um 70 m steigt, die Temperatur plötzlich ab von 18,8°—16,4°, die relative Feuchtigkeit zu von 61% bis 84%. Diese Störung dauert bis 10 h 54. Dann nimmt bis 11 h 10 die Temperatur langsam ab, die relative Feuchtigkeit zu bis 88%, was auf Verschwinden der Isothermie hinweist; um 11 h 10 dringt wieder kalte, feuchte Luft auf, nachher ist die Isothermie nicht mehr da.“

Für die Basishöhe der Kumuli wurde bei den Drachen- und Fesselballonaufstiegen im Mittel 950 m gefunden, über dem Meere jedoch während der Regenzeit nur 600 m.

Am Nachmittage wachsen aus den Tageskumuli große Cu-Ni empor, welche riesige Höhen erreichen, stark elektrisch sind und sich schließlich in Wolkenbrüchen entlasten.

Die Bedingungen, unter welchen im Archipel diese Entwicklung stattfindet, sind wenig oder gar nicht untersucht worden.

Auf S. 31 l. c. äußert sich Dr. Braak folgendermaßen:

„Allmählich bildeten sich überall über dem Lande die kleinen Kumuli; anfänglich am meisten in der Nähe der Küste. Diese Wolkenform hat eine ziemlich große Stabilität; etwas ganz Anderes ist mit den größeren Wolken der Fall, welche sich nach 11 Uhr hier und dort aus den kleinen zu bilden anfangen. Sie stiegen mit großer Geschwindigkeit bis 2000 oder 3000 m auf, verloren dann schnell ihre abgerundeten Formen und lösten sich auf; innerhalb weniger Minuten waren diese große Wolkengebilde verschwunden, indem an anderen Stellen die Erscheinung sich wiederholte. Bei der Auflösung konnte deutlich beobachtet werden, daß der ganze Kumulus mit einer Geschwindigkeit von 1—2 m pro Sekunde nach unten fiel. Indem die Kondensationswärme in der sich bildenden Wolke die Bewegung beschleunigt, findet, nachdem die Steigung aus Mangel an Wasserdampf aufgehört hat, sobald die Auflösung auftritt, die entgegengesetzte Wirkung statt, und es fängt ein beschleunigtes Sinken an. Wenn die Feuchtigkeit groß ist, so ist natürlich die Möglichkeit da, daß die Wolke sich weiter ausbildet, viel höher aufsteigt und sich zu einem Kumulo-Nimbus entwickelt.“

Von 12 Uhr ab stiegen fortwährend in der Nähe des Ballons die großen Kumuluswolken in die Höhe, ohne jedoch den Ballon einzuhüllen. Nachdem um 12 h 18 ein geringes Fallen stattgefunden hatte, ging dieses wieder in ein Steigen über, als sich gerade unter dem Ballon ein Kumulus bildete.“

„Für ein solches Steigen sind mehrere Ursachen anzugeben. Durch die verstärkte Strahlung wird das Ballongas sich ausdehnen, und auch die steigende Luftbewegung wird den Ballon etwas mit in die Höhe nehmen; der Ballon wird aber auch von einem relativ schweren Medium umgeben werden, weil die über der Wolke emporgehobene Luft sich ohne Kondensation adiabatisch um 1° pro 100 m abkühlt; in diesem zweiten Anstieg wird dementsprechend die Temperatur niedriger gefunden als im unmittelbar vorangegangenen Abstieg. Daß der Ballon die Wolken meidet, muß wohl der Wirkung dieser kalten Lufthülle (welche oft an den A-Cu-Kappen sichtbar ist) zugeschrieben werden.“

In diesem Jahre (1912) wurde eine Reihe von photographischen Doppelaufnahmen gemacht, welche die trigonometrische Höhenbestimmung ermöglichten. Meist fanden zwei Aufnahmen in einer Zwischenzeit von einigen Minuten statt, um die vertikalen und horizontalen Bewegungen zu ermitteln. Merkwürdig war es, zu beobachten, wie öfter aus diesen Wolken in Höhen von 10 000 m und mehr neue Köpfe mit Geschwindigkeiten von etwa 10 m/sec. herauswuchsen, und diese fast jedesmal mit Cirrusschirmen bedeckt wurden. Bald wurde dann ein solcher Kopf vom Oberwinde ergriffen, von der Hauptwolke getrennt und weithin fortgetrieben. Hatte ein solcher Kopf dadurch seine Lagerung oberhalb des CuNi-

Körpers mit seinen aufsteigenden Luftströmungen verloren, so verdampfte er sehr bald in der trockenen hohen Luft, dabei allmählich den Cirrushabitus annehmend.

An einem Nachmittage im Monat Juni sah ich dreimal hintereinander einen derartigen Kopf aus einem Wolkenkolosse hervorwachsen und sich loslösen.

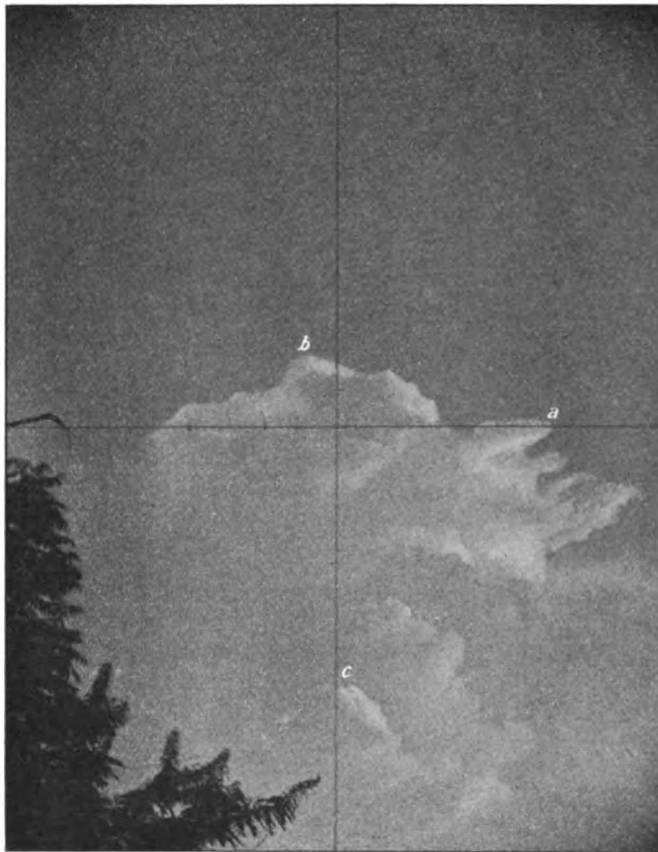


Fig. 13. Seitlich ausfließender Cu-Ni-Kopf. (Höhe des Punktes a = 14 400 m, b = 15 230 m, c = 6710 m).

Öfter wächst der ganze obere Teil der Wolke aus und breitet sich oben nach allen Seiten auseinander; dabei nimmt er die Erdschwammgestalt an, welche auch gelegentlich in Europa beobachtet wird, die ich aber hier recht häufig sah.

In einigen Fällen, wo der Rand eines solchen Gebildes senkrecht über mir stand, konnte ich die ziemlich genau kreisrunde Form desselben beobachten, woraus hervorgeht, daß hier nicht der Oberwind sein Spiel treibt, sondern ein wahres Ausfließen der Luft vom Wolkenzentrum aus stattfindet. Die Köpfe der Kumulonimbi erreichten im Archipel erstaunliche Höhen, die in den meisten von mir gemessenen Fällen 10 000 m übertrafen, ja sogar bis zu 15—16 000 m reichten.

Während der Trockenzeit löst sich über Nacht das ganze Gebilde wieder auf,

wenigstens über dem Lande; denn wiederholt sah ich am frühen Morgen im Norden über dem Meere hohe Kumulonimbi, während sich im Süden die Berge klar und wolkenlos zeigten. Die Sonne löste dann aber bald die übernächtigen Gesellen auf. Der Umstand, daß sie auch die Nacht über bestehen bleiben, dürfte vielleicht seine Erklärung finden in dem nahezu immerwährenden Fehlen von einer täglichen Temperaturwelle über dem Meere, wohingegen abends über dem Lande die Luft herabsinkt, sich erwärmt und trocken wird, was die Verdampfung der Wolken zur Folge hat. Dieses Trockenwerden der Luft spricht sich besonders deutlich in den Temperatur- und Feuchtigkeitsdiagrammen vom Pangerango-Gipfel wie auch in denen von Tosari aus

In der Regenzeit verläuft die Wolkenbildung öfter in ganz anderer Weise und trägt mehr den Charakter jener Vorgänge, welche mit dem Vorübergehen einer Depression verbunden sind.

Charakteristisch sind die nächtlichen Gewitter, welche sogar das Hauptmaximum des Niederschlages für diese Jahreszeit auf die ersten Stunden nach Mitternacht verlegen. Später in der Nacht verringern sich die Böen, und am folgenden Morgen bleibt meist eine Stratusbewölkung übrig.

Sehr zahlreich treten auch in diesen Monaten die A-Cu auf, welche wiederholt an der oberen Grenze des Westmonsuns zwischen dieser Luftströmung und dem darüber wehenden Ostwinde beobachtet wurden. Sie bilden sich und lösen sich rasch auf, wie bei solch dünnem Gewölk begreiflich ist, und mancher Pilotballon-aufstieg fand dadurch ein unerwartet frühzeitiges Ende, doch war zuweilen auch eine unverhofft lange Visierung möglich. Aus den im Jahre 1896/97 angestellten Messungen wurde ihre mittlere Höhe bei 5400 m gefunden. Diese Zahl stimmt recht gut überein mit dem Mittel von 20 Fällen, bei denen wir einen Pilotballon in diese Wolken eintauchen sahen, nämlich bei 5000 m.

Die isotherme Fläche von 0° Celsius liegt nur wenig niedriger, und es bleibt also fraglich, ob gewisse A-Cu Schnee- oder Wasserwolken sind, vielleicht werden in der Zukunft Luftfahrer Näheres darüber beobachten können.

Für die mittleren Höhen der drei Cirrusgattungen wurde aus obengenannten Messungen gefunden: Ci-Cu 6300 m; Ci-St 10 600 m; Ci 11 500 m.

Die zwei letzten Wolkenarten sind im Archipel sehr häufig, und es scheint, als ob sie während der Regenzeit in größeren Höhen schweben als während der anderen Jahreszeit; denn wenn ich die Messungen nach Jahreszeiten scheidet und die zweifelhaften Fälle mit Höhen unter 8 000 m und über 15 000 m ausscheidet, finde ich:

Oktober—April	12 000 m
Mai—September	10 800 m.

Wohl nicht ohne inneren Zusammenhang ist es, daß in jenen Regionen die isothermen Flächen genau die gleiche vertikale Schwankung mitzumachen scheinen; denn ich berechnete aus den Temperaturbeobachtungen, die mittels der Registrierballone vorgenommen waren, daß die Temperatur für die Monate Oktober—April in 12 000 m Höhe — 44,2° C betrug und für die andere Jahreszeit in 10 800 m Höhe denselben Wert hatte.

Auch die Höhe des Antipassats scheint sich an dieser vertikalen Schwankung zu beteiligen; fand ich doch die Schicht, wo er seine maximale Entwicklung erreicht, in der Regenzeit bei 15 000 m und in der Trockenzeit bei nur 13 000 m Höhe. Und daß die untere Grenze der Stratosphäre vermutlich mit auf- und abschwankt, wurde bereits im vorigen Paragraphen erwähnt.

Noch manche charakteristische Eigenschaft der tropischen Atmosphäre, die in dem Archipel zur Geltung kommt, wäre zu erwähnen, Eigenschaften, welche Erscheinungen bedingen, die wichtig für das Klima und auch für die Luftfahrt sind.

So wären zu nennen die starken Gegensätze, welche bezüglich der Kondensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu Wolken und Regen die Luv- und Leeseiten der Gebirge und Vulkankegel bieten, ferner die Bildung von Bodennebeln auf den Hochebenen, die Gewitterfrequenz, die Gegensätze in Regenintensität und in Regendauer, welche Gebirge und Ebene zeigen, und last not least das elektrische Verhalten der Atmosphäre.

Es würde dies aber zu weit führen und diese Schrift unnötig belasten mit vielem, was schon oft und ausführlich beschrieben worden ist, wie es z. B. mit den Regenverhältnissen der Fall ist.

Auch haben für andere Phänomene, wie den Bodennebel, systematische Beobachtungen erst vor kurzem angefangen, oder sie warten noch auf eine eingehendere Erforschung, wie das elektrische Verhalten der Atmosphäre. Da nun eine erschöpfende Darstellung der verschiedenen Eigenschaften und Phänomene des sich über dem malayischen Archipel ausdehnenden Luftmeeres nicht mein Zweck war, dürfte die hier gegebene, bei welcher das Hauptgewicht auf die neuen aerologischen Forschungen gelegt ist, dem Leser genügen.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Luftfahrt und Wissenschaft.

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker.

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson,**

Dipl.-Ing. **C. Eberhardt,**

Gerichtsassessor **J. Sticker,**

Professor Dr. **R. Süring,**

Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr. **H. Zimmermann.**

Früher erschienen:

1. Heft: **Luftfahrtrecht.** Von Dr. jur. **Josef Kohler,** Geh. Justizrat, ordentlicher Professor der Rechte an der Universität Berlin. VI und 45 Seiten. Preis M. 1,20. (Stiftung des Kaiserlichen Aero-Clubs, Berlin.)
2. Heft: **Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Luftpolektrizität.** Von Dr. **M. Dieckmann,** Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Kgl. Technischen Hochschule München. 1. Teil: **Die Empfangsstörung.** VIII und 73 Seiten. Mit 56 Abbildungen. Preis M. 3,—. (Stiftung des Berliner Vereins für Luftschiffahrt, Berlin.)
3. Heft: **Zur Physiologie und Hygiene der Luftfahrt.** Von Dr. med. **N. Zuntz,** Geh. Regierungsrat, Professor der Physiologie an der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin. V und 67 Seiten. Mit 11 Textfiguren. Preis M. 2,—. (Stiftung des Magdeburger Vereins für Luftschiffahrt, Magdeburg.)
4. Heft: **Stoffdehnung und Formänderung der Hülle von Prall-Luftschiffen.** Untersuchungen im Luftschiffbau der Siemens-Schuckert-Werke. Von Dr.-Ing. **Rudolf Haas** und Dipl. Schiffbauingenieur **Alexander Dietzius,** Privatdozent für Luftschiffbau an der Königl. Technischen Hochschule zu Berlin. IX und 134 Seiten. Mit 138 Textfiguren. Preis M. 6,—.

Demnächst erscheinen:

- Versuche an Doppeldeckern zur Bestimmung ihrer Eigengeschwindigkeit und Flugwinkel.** Von Dipl.-Ing. **C. Th. Wilhelm Hoff,** Assistent an der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, Adlershof bei Berlin.
- Tabellen zur astronomischen Ortsbestimmung.** Von Dr. **A. Kohlschütter,** Astronom am Mt. Wilson Solar Observatory, Pasadena, Cal.
- Die Querschnittsformen der Vogelflügel und ihre Verwertung für Luftschrauben.** Von Dipl.-Ing. **C. Eberhardt,** Ingenieur beim Luftschiffer-Bataillon, Berlin.
- Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Luftpolektrizität.** Von Dr. **M. Dieckmann,** Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Kgl. Techn. Hochschule München. 2. Teil: **Die Reichweitenänderung.**
- Die Untersuchung der Flugzeug- und Luftschiff-Maschinen.** Von Professor **A. Wagener,** Leiter des Maschinen-technischen Laboratoriums der Kgl. Techn. Hochschule Danzig.
-
-

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

TL
545
2/41

Luftfahrt und Wissenschaft

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson**,

Dipl.-Ing. **C. Eberhardt**,

Gerichtsassessor **J. Sticker**,

Professor Dr. **R. Süring**,

Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr. **H. Zimmermann**

Heft 6

Versuche an Doppeldeckern zur Bestimmung ihrer Eigengeschwindigkeit und Flugwinkel

Von

Wilhelm Hoff



Berlin

Verlag von Julius Springer

1913

Versuche an Doppeldeckern zur Bestimmung ihrer Eigen- geschwindigkeit und Flugwinkel

Von

Dr.-Ing. Wilhelm Hoff

Leiter der Flugzeugabteilung

der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V. in Berlin-Adlershof

Mit 32 Abbildungen



Berlin

Verlag von Julius Springer

1913

Stiftung des „Vogtländischen Vereins für Luftschiffahrt“, Plauen i. V.

Ein Verzeichnis der bereits erschienenen und der in Vorbereitung befindlichen Hefte
findet sich am Schluß.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

G. 1
H. 1
11-12-24
G. 1

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung	1
II. Beschreibung der einzelnen Meßinstrumente und Angabe ihrer Eichung	5
a) Schreibzeug	5
b) Druckscheibe	10
c) Pendel.	18
d) Windfahne	22
III. Versuchsvorgang und Übersicht über die angestellten Versuche . . .	24
IV. Versuchsergebnisse	29
V. Zusammenfassung und Ausblick	55

**Herrn Geh. Kommerzienrat Fritz Baare
zugeeignet.**

I. Einleitung.

Bis zu Beginn des Jahres 1911 waren in Deutschland von einigen Experimentatoren nur Modellversuche durchgeführt worden, die dem Erbauer von Flugzeugen nützliche Winke für deren Konstruktion zu geben vermochten, bei denen aber die Frage noch offen blieb, in welcher Weise sich die Ergebnisse solcher Versuche auf die Verhältnisse im großen anwenden ließen. Es kam mir daher der Gedanke, Versuche an fliegenden Fahrzeugen selbst vorzunehmen, welche Kenntnisse hierüber anbahnen sollten. In meiner Flugzeugbaupraxis und durch eigene Flüge auf dem Wrightdoppeldecker war mir die Wichtigkeit solcher Studien immer wieder zum Bewußtsein gekommen.

Ich trat daher mit Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Reißner, Inhaber des Lehrstuhls für Mechanik und Aerodynamik der Aachener Königlichen Technischen Hochschule, in Verbindung, um meinen Plan, wissenschaftliche Messungen an fliegenden Flugzeugen vorzunehmen, zu besprechen und seine Unterstützung zu gewinnen. Zu dieser Zeit standen dem aerodynamischen Institute Werkstatt und Mechaniker für derartige Zwecke nicht zur Verfügung. Die Versuche konnten daher von ihm nicht übernommen werden. Herr Prof. Dr. Reißner hatte aber die Güte, mit Herrn Prof. Dr. Stark, Vorsteher des Physikalischen Institutes der Hochschule, Rücksprache zu nehmen. Später allerdings habe ich von den Forschungsmitteln und dem freundlichen Rat des Herrn Prof. Reißner öfters Gebrauch gemacht.

Herr Prof. Stark brachte meinen Absichten sofort das größte Interesse entgegen, erwog mit mir in eingehender Weise ihre Durchführung und erklärte sich bereit, den Entwurf sowie den Bau der notwendigen Instrumente zu leiten und mir mit seinem Rate zur Seite zu stehen. Zugleich gestattete er, daß der Apparat selbst von den Mechanikern des Physikalischen Institutes angefertigt wurde. Die Herstellungs- und Versuchsunkosten wurden von diesem Institut und aus Mitteln gedeckt, welche Herrn Prof. Dr. Stark von der Rheinischen Gesellschaft für wissenschaftliche Forschung für den Bau eines aerodynamischen Apparates bewilligt worden waren.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Stark und Herrn Prof. Dr. Reißner für ihre wohlwollende Förderung meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Es kamen für die Erforschung des Flugzeuges im Fluge verschiedene Gebiete in Frage. Die Antriebsanlage, bestehend aus Motor und Luftschraube in ihrer Zusammenwirkung und Kraftausnutzung, ist ein erstes, wichtiges Feld für Untersuchungen. Es wurde nicht gewählt, da Versuchseinrichtungen dazu benötigt werden, die zu umfangreich sind, als daß sie an einem nicht besonders dafür eingerichteten Flugzeuge angebracht werden könnten.

Eine zweite Gruppe bildet die Prüfung der Tragfläche im Zusammenhang mit den Stabilitäts- und Steuerorganen. Eine Unterabteilung derselben ist die vorliegende Untersuchung, die sich auf Messung der Flugzeuggeschwindigkeit, der Neigung der Flugzeuglängsachse zur Wagerechten und des Lufteinfallswinkels beschränkt.

Als Meßinstrumente wurden hierzu aus später angegebenen Gründen eine Druckscheibe, ein stark gedämpftes Pendel und eine horizontale Windfahne gewählt.

Ich begnügte mich mit diesen Untersuchungen und schied die anderen aus, da sie einen erheblichen Aufwand an Kosten und Zeit erfordert haben würden. Auch schien es ratsam, mit dem Einfachsten zu beginnen.

Von Anfang an war ich bestrebt, die beabsichtigten Versuche so einzurichten, daß sie ohne große Vorbereitung an Flugzeugen vorgenommen werden konnten, die für andere Zwecke benötigt wurden. Diese Forderung war empfehlenswert, da ohne diese Einfachheit es schwierig gewesen wäre, die Versuche im Betriebe einer Flugzeugfabrik durchzuführen.

Infolge dieser Überlegungen wurde ein kleines, in sich geschlossenes Laboratorium gebaut, das aus verschiedenen Teilinstrumenten bestand. Da es einem Flugzeugführer unmöglich ist, dessen Begleiter aber sehr schwer würde, während des Fluges die in Betracht kommenden Instrumente abzulesen, so wurde ein Schreibwerk angeschlossen, das die vorgenommenen Messungen auf einem Papierband registrierte.

Die Eichung des Meßinstrumentes fand, soweit nicht Angaben anderer Laboratorien dazu benutzt werden konnten, in Aachen statt. Eine Eichung auf einem Kraftwagen wurde mit Unterstützung der Benzwerkstätten, Berlin-Moabit, vorgenommen, denen hiermit für ihr Interesse bestens gedankt sei.

Infolge säumiger Lieferung auswärtiger Firmen wurde die Fertigstellung des Instrumentes stark verzögert. Erst mit Beginn des Jahres 1912 konnte ich an die eigentlichen Versuche herantreten.

Die Flugzeugfabrik Albatros-Werke G. m. b. H., Berlin-Johannisthal, an welche ich mich mit meinen Plänen wandte, ging auf dieselben mit weitgehender Bereitwilligkeit ein und gestattete, daß an Doppeldeckern ihrer Bauart die Versuche vorgenommen wurden. Das liebenswürdige Entgegenkommen der Albatros-Werke, die unermüdliche Unterstützung ihres Ingenieurs, Herrn Dipl.-Ing. Thelen, die freundliche Hilfe ihrer Flugzeugführer, der Herren Grünberg und Rupp, gaben mir die Möglichkeit, die Versuche zu Ende zu bringen. An den Versuchsflügen beteiligten sich ferner noch Herr Leutnant Coerper und Herr Leutnant Foerster sowie auch Herr Wechsler. Mit dieser vielseitigen verständnisvollen Unterstützung gelang es mir im Frühjahr 1912, eine Reihe von Messungen am fliegenden Flugzeug als Material für die vorliegende Arbeit zu erhalten. Es drängt mich daher, den Albatros-Werken und den Herren, welche die Versuchsflüge steuerten, an dieser Stelle für die tatkräftige Mitarbeit in herzlichster Weise gebührend zu danken.

Das Versuchsprogramm hatte ich mir anfangs größer gestellt, namentlich wollte ich die Ansteig- und Gleitfähigkeit der Flugzeuge prüfen. Es wurde jedoch hier-

von Abstand genommen, da der Meßapparat noch Unzuträglichkeiten hatte, und die Versuche eine zu große Ausdehnung bekommen hätten.

In Frankreich beschäftigte man sich schon seit längerer Zeit mit Versuchen an Flugzeugen, die namentlich dem Studium der Antriebsanlage galten.

Legrand¹⁾ fing 1909 seine Versuche mit einem alten Voisin-Doppeldecker an, der aber entzweigefahren wurde. Im Jahre 1910 setzte er sie dann fort. Seinen kurzen Angaben nach waren in das Flugzeug an Instrumenten eingebaut worden: 1. ein Neigungsmesser, ein Vorläufer des später von der Firma Chauvin et Arnoux in den Handel gebrachten Instrumentes, 2. ein Schraubenzugmesser und 3. ein Geschwindigkeitsmesser. Dieses Instrument, dem sogenannten Venturi-Wassermesser nachgebildet, besteht aus zwei konischen Rohren, die an ihrem engen Querschnitt in Achsenverlängerung aneinandergesetzt sind. Das vordere Rohr ist kürzer und wird mit seiner weiten Öffnung dem Wind entgegengestellt. Das hintere ist länger gezogen als das vordere Rohr. Beim Anblasen durch den Wind bildet sich in der Kehle der beiden Rohre im Vergleich zu der Meßstelle an der vorderen Mündung ein starker Unterdruck, welcher dem Quadrate der Geschwindigkeit der Luftströmung proportional ist. Seine Größe wurde an einer Flüssigkeitssäule abgelesen. Von seinen Ergebnissen teilt Legrand nur mit, daß er feststellen konnte, daß im Fluge bei Wind die Relativgeschwindigkeiten stark schwankten, daß bei Wind von vorne das Ansteigen leichter sei als bei Wind von hinten, eine Tatsache, die durch die Flugpraxis schon bekannt geworden war.

Vom Laboratoire d'aéronautique militaire in Chalais-Meudon wurde Anfang 1910 von Kapitän Dorand²⁾ mit Versuchen am fliegenden Flugzeug begonnen. Es wurde bezweckt, die Luftschrauben in Fahrt zu studieren und mit der Geschwindigkeit des Flugzeugs zu vergleichen. Ein Doppeldecker mit gestaffelten Flächen nach der Bauart von Maurice Farman wurde zu den Versuchen hergerichtet. Ein 60-PS-Renault diente als Antriebsmotor. Zur Geschwindigkeitsmessung diente ein ähnliches Instrument, wie es Legrand benutzt hatte. Dorand brachte diese Venturirohre in zwei Exemplaren nebeneinander seitlich zwischen den Tragdecks des Flugzeugs unter. Die Leitungsrohre eines Instrumentes führten dem Anschein nach zu dem Führersitz, diejenigen des zweiten Rohres wurden zu dem U-Rohr einer Flüssigkeitssäule geleitet, die in richtigem Abstand vor dem Objektiv einer photographischen Kamera angebracht worden war. Neben das U-Rohr für die Geschwindigkeitsmessung war die Skala eines einfachen Horizontalpendels gesetzt. Die Einstellungen beider Instrumente konnten daher zu gleicher Zeit mit einer photographischen Aufnahme festgehalten werden. Am Führersitz waren dann noch registrierende Instrumente für die Messungen des Schraubenzugs und der Motorumdrehungszahl untergebracht. Auf den Trommeln dieser beiden Instrumente wurde die Zeit der photographischen Exposition gleichzeitig durch ein Zeichen des auslösenden elektrischen Kontakts fixiert, so daß damit alle Ablesungen auf einen bestimmten Augenblick zurückgeführt werden konnten. Die Angaben Dorand's beziehen sich hauptsächlich auf die Wirkungsweise der Luftschraube. In einem kleinen

¹⁾ L'Aérophile 15 septembre 1910; l'Aérophile 1 mars 1912.

²⁾ La Technique aéronautique 1 novembre 1911; l'Aérophile 1 mai 1912.

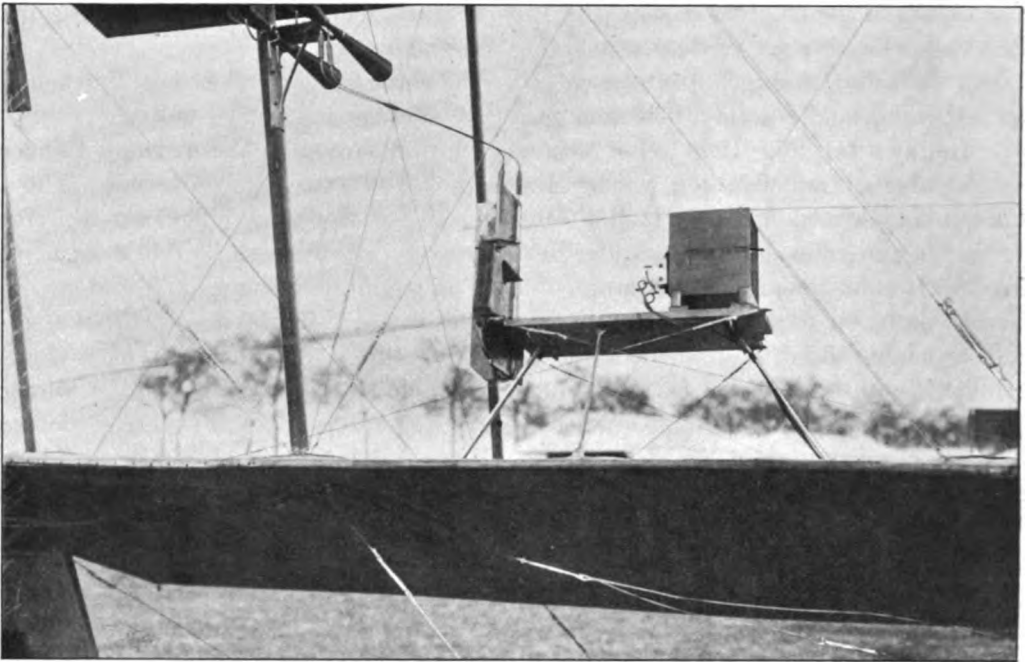


Abb. 1.

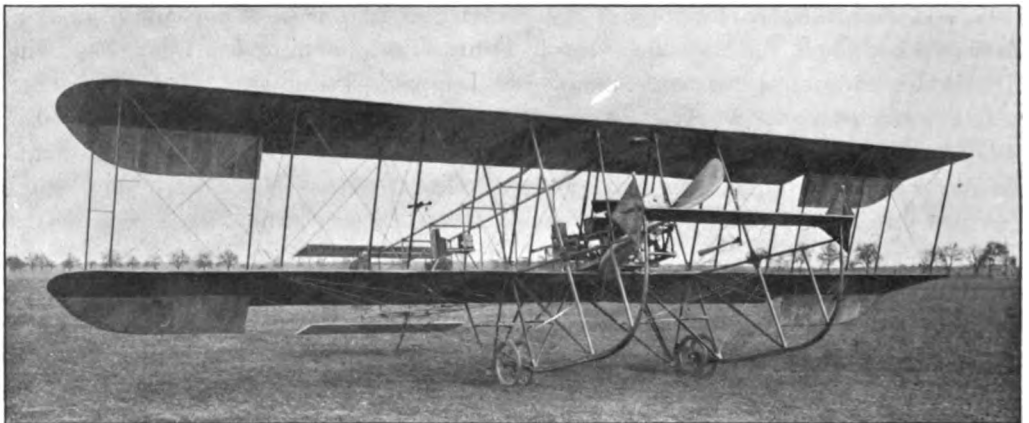


Abb. 2.

Abb. 1 und 2. Versuchsanordnung des Kapitän Dorand.

Schaubild gibt er die Ergebnisse einer Versuchsreihe wieder. Es ist daraus zu erkennen, daß bei seinem Flugzeug folgende Werte einander entsprechen.

Geschwindigkeit: m/sec 15,20	16,36	16,80	17,05
Angriffswinkel der Flächen. 10°,84	10°,16	9°,9	9°,7

Diese Angaben sind die einzigen, die zu einem Vergleich mit experimentell gefundenen Werten an Flugzeugen herangezogen werden können. Meines Wissens

gibt es außer dieser Angabe keine Stelle, die über Geschwindigkeitsmessungen im Fluge im Vergleich zu den Angriffswinkeln der Haupttragfläche Aufschluß gewährte¹⁾.

Kapitän Etévé²⁾ schildert ein Geschwindigkeitsmeßinstrument, das für den praktischen Fluggebrauch gedacht ist und für diesen sich äußerst nützlich erweist. Es vereinigt in einer Ausführung eine Druckscheibe zur Geschwindigkeitsmessung und eine vertikale Windfahne, wie sie vielfach gebraucht wird, um in Kurven die Grenze der zulässigen Schräglage nach innen zu erkennen. Eine Skalenverschiebung gestattet eine individuelle Einstellung, wie sie für jedes Flugzeug und jede Motor-type benötigt wird. Das Instrument hat weniger die Aufgabe, bestimmte Geschwindigkeiten in ihrer Größe erkennen zu lassen, als vielmehr dem Führer die Möglichkeit zu geben, eine als zuverlässig für das Flugzeug erkannte Geschwindigkeit in allen Fällen einzuhalten. Es ist nach den Ausführungen von Etévé ein brauchbareres Navigationsinstrument in Verbindung mit dem Barometer als Neigungsmesser unter Zuhilfenahme von Flüssigkeitssäulen oder Pendeln, welche durch Beschleunigungen oder Verzögerungen des Flugzeugs erhebliche Falschangaben zur Folge haben können.

II. Beschreibung der einzelnen Meßinstrumente und Angabe ihrer Eichung.

a) Schreibzeug.

Als Aufzeichnungsvorrichtung diente ein Schreibwerk, das von Dr. Th. Horn in Leipzig-Großschocher für die verschiedensten Zwecke gebaut wird. Es besteht aus zwei Trommeln für die Aufnahme des Papierbandes, einer Schreibtrommel, einem Umlaufwerk für die Schreibtrommel und einem Uhrwerk für den Antrieb der das Papierband aufnehmenden Trommel. Vor anderen ähnlichen Instrumenten erschien es für die geplanten Versuche geeignet, da die Ablaufszeit der Uhrwerke etwa 20 Minuten beträgt, und da 20 mm/sec Papierbandgeschwindigkeit als wünschenswert erachtet wurde. Die lange Versuchsdauer wurde angestrebt, um die Flüge ausdehnen und in wenig Versuchsflügen ausreichendes Material gewinnen zu können.

Da in den Aufzeichnungen erhebliche Schwankungen zu erwarten waren, so war mit der großen Papierbandgeschwindigkeit ein Mittel gegeben, solche Schwankungen zeitlich genau festzulegen.

Die Breite des Papierbandes wurde zu 60 mm gewählt, von denen allerdings nur etwa 48 mm für die Aufzeichnung benutzbar sind. Kleine, in regelmäßigen Abständen liegende kreisrunde Löcher am vorderen Rande des Papierbandes dienen zur Fortbewegung desselben, indem gleichgroße, auf dem Umfang der Schreibwalze angeordnete Stiftchen in die Löcher des Papierbandes eingreifen und damit seinen Ablauf bewirken. Die Länge eines Papierstreifens genügt reichlich für zwei Versuche von je 20 Minuten Dauer, so daß ein Wechsel desselben nicht so schnell notwendig wird.

¹⁾ Über gleichzeitige Versuche der Royal Aircraft Factory in England auf Seite 56.

²⁾ La Technique aéronautique 1 janvier 1912.

Das Papierband wurde ohne besondere Liniierung verwandt, weil die Maßstäbe der Aufzeichnungen verstellbar waren und sich von Fall zu Fall änderten. Auch konnten die manchmal nicht so sehr hervortretenden Kurven dadurch besser sichtbar gemacht werden.

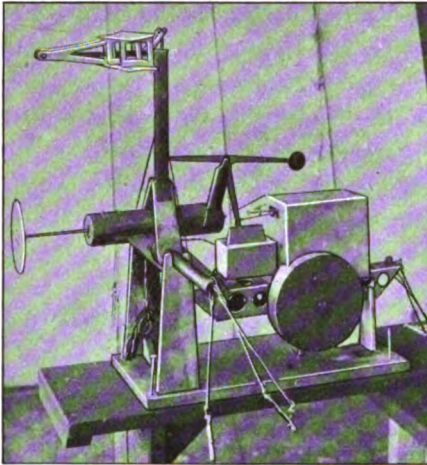


Abb. 3. Backbordseite.

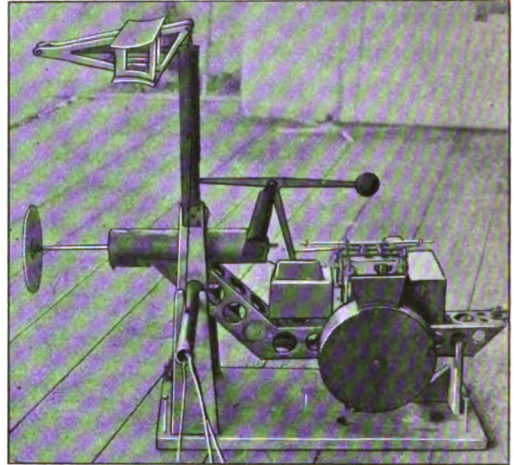


Abb. 4. Backbordseite.

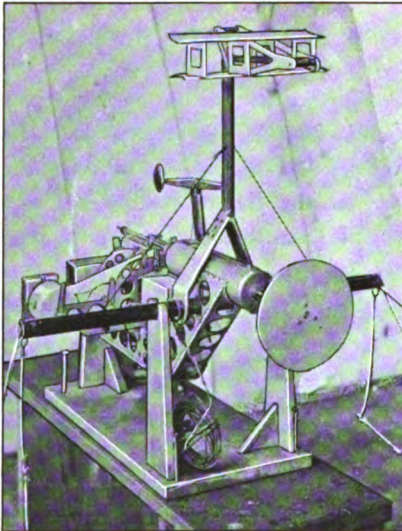


Abb. 5. Vorderseite.

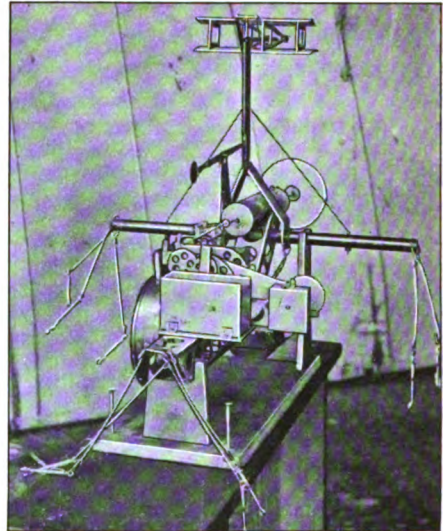


Abb. 6. Rückseite.

Abb. 3—6. Ansichten des Meßinstrumentes.

Die Schreibwalze wird von einem Umlaufwerk unter Zwischenschaltung eines Vorgeleges mit einem Geschwindigkeitswechsel der Schreibwalze von 20 mm/sec auf 1 mm/sec in Bewegung gesetzt. Von der niedrigen Papiergeschwindigkeit wurde kein Gebrauch gemacht, da sie für die Aufzeichnungen des Pendels

zu gering war. Das Umlaufwerk wird durch ein Zentrifugalpendel in für die Versuche durchaus ausreichenden Grenzen reguliert. Ein besonderes Uhrwerk, welches das auflaufende Papier in Spannung hält und aufwickelt, ist unabhängig und getrennt von dem Umlaufwerk angeordnet. Dieses Auflaufwerk benötigt keine besondere Regulierung.

Die Schreibvorrichtungen sind in drei nebeneinander liegenden und parallel laufenden Schlitten über der Schreibwalze angeordnet. Sie tragen in besonderen Aufhängungen die eigentlichen Schreibröhrchen mit ihren Flüssigkeitsbehältern. Die außerordentlich fein ausgebildeten Schreibröhrchen sind verschieden gestaltet, so daß sie sich gegenseitig nicht hindern und mit einer Versetzung von 2 mm nebeneinander aufzeichnen können. Solange das Schreibwerk vor Erschütterungen bewahrt blieb, arbeiteten die Röhrchen zuverlässig. Bei den kräftigen

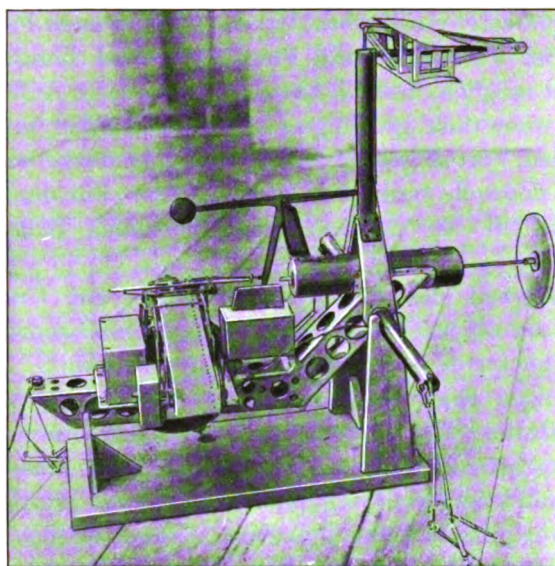


Abb. 7. Ansicht des Meßinstrumentes (Steuerbordseite).

Stößen während des Anfahrens des Flugzeugs setzten sich die feinen, kaum $\frac{1}{10}$ mm betragenden Öffnungen der Schreibröhrchen leicht mit Papierfasern zu und verursachten dann zeitraubende Störungen der Versuche. Die Flugzeugführer mußten daher angewiesen werden, mit möglichster Vorsicht anzufahren. Trotzdem kam es vielfach vor, daß eine oder mehrere Schreibröhrchen schon bald nach dem Start ausgeschaltet waren. Es war dies der größte Übelstand des gesamten Apparates.

Die Führung der Schreibschlitten entsprach nicht der Feinheit der Schreibfedern, sie ergab ziemliche Reibungen, die aber durch das Vibrieren des ganzen Flugzeugs bei laufendem Motor teilweise ausgeglichen wurden. Beim empfindlichen Pendel konnte auf die Schlittenführung und auch bei den letzten Versuchen auf das bei ihm besonders unzuverlässige Schreibröhrchen verzichtet werden. An die Stelle

des Schreibröhrchens trat ein durch eine weiche Feder 'aufgedrückter Bleistift, eine Vorrichtung, die sich gut bewährt hat.

Um in den Versuchspausen nicht unnötig Papierband zu verbrauchen und nach Bedarf das Schreibwerk in Gang setzen zu können, wurde eine elektromagnetische Einschaltvorrichtung für das Umlaufwerk vorgesehen, dessen Schalter vom Führersitz aus bedient wurde. Ein Elektromagnet gab bei Stromschluß die Bremse des Umlaufwerkes frei. Den Erschütterungen des Flugzeugs gegenüber erwies sich die Brems Scheibe aus Aluminium nicht widerstandsfähig genug, da der zu kleine Bremsstift sich in dieses weiche Metall einarbeitete. Er mußte stark verbreitert werden, um das Umlaufwerk auch bei Erschütterungen zuverlässig im Stillstand halten zu können.

Durch Aussparen an geeigneten Stellen wurde das Gewicht des Schreibwerks allein verringert auf 3,2 kg.

Seine Bauart gestattet ein Beobachten des auflaufenden Papierbandes während seines Ganges. Bei Versuchen mit Flugzeugen sind derartige Beobachtungen wohl meistens nicht möglich, deshalb hätte bei besonderer Anfertigung des Schreibwerkes sein Bau wesentlich gedrängter gestaltet werden müssen. Dies würde namentlich auch den Vorteil gehabt haben, daß das starke seitliche Ausladen des Versuchsapparates dadurch vermieden worden wäre. Für den vorliegenden Zweck begnügte ich mich mit der gebräuchlichen normalen Bauart des Hornschen Schreibwerkes.

Die Geschwindigkeit des Papierbandes wurde auf Unregelmäßigkeiten in seinem Ablauf und auf ein Nachlassen gegen Ablaufschluß geprüft. Die Eichung vor Beginn der Versuche wurde auf folgende Art durchgeführt.

Die Schwingungen eines Sekundenpendels dienten als Vergleichsmaß. Das Pendel war so gestaltet, daß es beim Durchstreichen durch die Senkrechte den Kontakt des Schwachstromkreises eines Relaischalters, dieser dann den Primärstromkreis einer Induktionsspule schloß. In der Spule wurde durch die sekundlichen Stöße ein sekundärer Strom induziert, welcher endlich zum Durchschlagen des Papierbandes benutzt werden konnte. Man erhielt dadurch auf dem Papierstreifen in Abständen von 1 Sek. kleine Brennstellen, deren Entfernungen ein Maß für die Regelmäßigkeit des Ablaufs gaben.

Die Ergebnisse der Eichung waren folgende. Das Laufwerk lief beim ersten Versuch 19 Min. 31 Sek. und wickelte dabei 21695 mm Papierband ab. Im zweiten Falle lief es länger, nämlich 20 Min. 59 Sek. mit einer Ablaufstrecke von 23035 mm. Bei dem ersten Versuch wurden die Abstände von Sekunde zu Sekunde gemessen und ihre Mittelwerte über eine Minute errechnet. Es wurde für diese Zeit der mittlere Fehler e bestimmt nach der Regel

$$e = \pm \sqrt{\frac{S}{n-1}}$$

Hierin bedeuten: e den mittleren Fehler einer Einzelmessung in bezug auf den gewonnenen Mittelwert, S die Summe der Quadrate der Unterschiede der einzelnen Messungen vom Mittelwert, n die Anzahl der Abmessungen (in diesem Falle jedesmal $n = 60$).

Drei Sekunden nach Auslösung des Laufwerkes ist die Beschleunigungszeit desselben vorüber. Das Ablaufen des Papierbandes erfolgt von Minute zu Minute langsamer. Eine Tabelle gibt über diese Verhältnisse Aufschluß.

Es empfiehlt sich danach, für Zeitmessungen mit dem Papierband nur die erste bis einschließlich 16. Minute zu benutzen, da von dieser ab die Abnahme der Ablaufgeschwindigkeit unregelmäßig erfolgt. Die Zeitmessung mit dem Sekundenpendel hatte eine beschränkte Genauigkeit, denn das Pendel hatte am tiefsten Punkt eine 3 mm breite Quecksilberschneide zu durchstreichen, auf deren zweiten Hälfte erst die Ablösung des Funkens erfolgte. Sein Ausschlag betrug $s = 175$ mm. Es hatte demnach im tiefsten Punkt eine Geschwindigkeit

$$v_{\max} = \frac{s}{\sin(\pi t)} = \frac{175}{\sin \frac{\pi}{4}} = 248 \text{ mm/sec.}$$

Die Genauigkeit der Zeitmessung ist daher nur etwa

$$\pm \frac{3}{248} \cong 0,006 = 0,6 \%$$

Geschwindigkeitseichung des Papierbandes.

Minuten- folge	Gemessene Zeit in Sekunden		Abgelaufene Strecken mm		Papiergeschwindigkeit mm/sec		Mittlerer Fehler einer Sekunde (\pm mm ¹)		
	Versuch I	Versuch II	Versuch I	Versuch II	Versuch I	Versuch II			
1	55	58	1074	1139	19,54	19,65	0,42		
2			1170	1175	19,49	19,58	0,34		
3			1178	1172	19,63	19,54	0,30		
4			1174	1171	19,57	19,52	0,29		
5			1175	1171	19,59	19,52	0,30		
6			1172	1171	19,53	19,52	0,32		
7			1169	1170	19,48	19,50	0,31		
8			1170	1168	19,50	19,46	0,31		
9			1167	1170	19,46	19,50	0,26		
10			60	60	1167	1168	19,44	19,47	0,30
11					1166	1168	19,44	19,46	0,28
12					1165	1167	19,42	19,44	0,33
13					1167	1166	19,44	19,43	0,36
14					1166	1166	19,44	19,44	0,39
15					1168	1165	19,45	19,41	0,38
16					1164	1163	19,40	19,38	0,37
17	1157	1163			19,28	19,38	0,41		
18	1020	1152			17,00	19,19	0,54		
19	—	656			656	10,92	16,77	—	
20	—	—	—	740	—	—			
21	—	59	—	284	—	—			

Es wurde dieser Fehler nicht berücksichtigt, da er gerade so oft im positiven Sinn wie im negativen Sinn auftreten wird.

Es wird eine mittlere Geschwindigkeit des Papierbandes gefunden von 1948 mm/sec, gültig von der 1. bis einschließlich 16. Minute. Es ist hierbei der

¹) Der mittlere Fehler wurde nur bei dem ersten Versuche gemessen.

mittlere Fehler bezogen auf 30 für einzelne Minuten bestimmte Mittelwerte zweier Versuchsreihen etwa $\pm 0,06$ mm/sec bzw. 0,03 %.

Mit der geeichten Geschwindigkeit von 19,48 mm/sec wurde gewöhnlich nicht gerechnet, sondern mit einer solchen von 20 mm/sec, da diese für die Auswertung der Kurven bequemer ist. Es wird damit gegenüber dem genaueren Wert ein Fehler von 0,52 mm/sec bzw. von 2,7 % begangen, d. h. man mißt statt tatsächlich 61,6 Sekunden nur deren 60. Da es im allgemeinen auf diese genaue Zeitmessung nicht ankam, so konnte ohne Schaden diese Ungenauigkeit in Kauf genommen werden. Wo dagegen bessere Zeitmessung erforderlich wurde, wurde mit der geeichten Geschwindigkeit gerechnet.

Die Eichung der Geschwindigkeit des Papierbandes wurde nach den Versuchen mit dem 50-PS-Gnom-Spezialtyp bei laufendem Motor mit Hilfe einer Stoppuhr von 10 zu 10 Sekunden nachgeprüft und keine bemerkenswerten Abweichungen gegen die erste grundlegende Eichung wahrgenommen. Nach Beendigung aller Versuche wurde das Uhrwerk nochmals untersucht und ein erhebliches Nachlassen der letzten 10 Minuten der Ablaufszeit festgestellt. Da das Uhrwerk regelmäßig vor Beginn der Versuche aufgezogen wurde, so kamen diese letzten Minuten für die Versuche nicht mehr in Frage, und es kann mit den oben angeführten Werten auch für die Versuchsreihen mit der 50-PS-Gnom-Schulmaschine und der 100-PS-Argus-Doppeltaube gerechnet werden. Das Nachlassen des Uhrwerkes war die Folge einer allgemeinen Verschmutzung der Lager, da das Uhrwerk nicht genügend vor Staub geschützt gewesen war.

b) Druckscheibe.

Zum Messen der Geschwindigkeit des fliegenden Flugzeugs wurde eine abgefederte Druckscheibe gewählt. Die Durchfederung einer gewundenen Zugfeder gibt das Maß für den Winddruck, der auf die Scheibe ausgeübt wird, und damit auch für die erreichte Geschwindigkeit. Dieses Verfahren ist wie jedes indirekte nicht ganz zuverlässig.

Ein Windrädchen wurde nicht genommen, da die Verbindung mit dem Schreibwerk nicht ganz einfach gewesen wäre, und da angenommen wurde, daß wegen seines geringen Arbeitsvermögens und seiner Trägheit das Rädchen nicht schnell genug Schwankungen des Luftstromes folgen könnte. Auch ist die Eichung des Instrumentes für Geschwindigkeiten über 15 m/sec in Verbindung mit dem Schreibzeug umständlich und schwierig.

Das Windrädchen wird bei meteorologischen Messungen gebraucht und wurde auch, wie mir von Flugzeugführern der Luftverkehrsgesellschaft m. b. H. mitgeteilt wurde, in größerer Ausführung in Verbindung mit einem Tourenzähler zur Geschwindigkeitsfeststellung von Flugzeugen benutzt. Es war aber in diesem Falle nur ein Vergleichsinstrument für das Einhalten bestimmter Geschwindigkeiten, da eine besondere Eichung nicht vorgenommen worden war.

Die Pitotsche Röhre wurde auch nicht gewählt, da auch sie zur Registrierung keine großen Kräfte ergibt, und da die Dichthaltung und Wartung der Leitungen usw. viel Aufsicht erfordert. Man kann zwar die Pitotsche Röhre auf größere

Behälter wirken lassen und durch Übersetzung genügende Schreibkräfte erhalten, aber man nimmt damit größere Trägheit mit in Kauf, welche gerade für die Registrierung einzelner Luftstöße unzweckmäßig sein würde. In Laboratorien wird die Pitotröhre ständig mit Erfolg gebraucht. Auf Flugzeugen fand sie in Frankreich Anwendung. In Deutschland benutzte seinerzeit Herr Major z. D. Professor Dr.-Ing. v. Parseval bei seinen Versuchen mit seinen Eindeckern ein Instrument, das von Dr.-Ing. Bendemann in Lindenberg nach ähnlichen Grundsätzen wie das Venturi-Rohr konstruiert worden war.

Die Druckscheibe hat diesen Instrumenten gegenüber bestimmte Vorzüge.

Bei verhältnismäßig geringer Größe übt sie bei Geschwindigkeiten, mit denen man bei Flugzeugen rechnen muß, beträchtliche Kräfte auf ihre Feder aus. Es sei hier vorweggenommen, daß bei der benutzten Kreisscheibe von 150 mm Durchmesser der Druck von 330 g bei 16 m/sec wächst bis zu 835 g bei 26 m/sec. Diese Kräfte sind geeignet, innere, nur in der Bauart des Instrumentes liegende Reibungen gut zu überwinden. Eine leichte Aluminiumscheibe mit kräftiger Stoßstange ist die einzige Masse, die zu bewegen ist. Das Gewicht der Scheibe mit Stange und Zubehör ist etwa 120 g. Sie ist in Kugellagern horizontal gelagert, so daß eine Längsverschiebung leicht möglich ist. Die auftretenden Reibungskräfte werden auch hier durch die Erschütterungen des Motorganges stark verringert.

Es kam bei den Versuchen eine Aufwärts- oder Abwärtsneigung von etwa 5° im Maximum vor. Es ergibt sich hierfür eine Zusatzkraft zum Winddruck von

$$\pm 120 \cdot \sin 5^\circ = \pm 10,5 \text{ g.}$$

Diese $\pm 10,5$ g entsprechen bei 16 m/sec einem Geschwindigkeitsunterschied von $\pm 0,2$ m/sec, bei 26 m/sec dagegen $\pm 0,15$ m/sec. In weitaus den meisten Fällen überstieg die Neigung der Stoßstange nicht $\pm 2^\circ$, so daß ein Fehler von $\pm 0,08$ bis $\pm 0,06$ m/sec auftrat, der gegenüber anderen Fehlerquellen vernachlässigt wurde.

Die Messung der Geschwindigkeit mit Druckscheibe erfolgt durch Zugrundelegung folgender Beziehung:

$$R = \zeta \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2.$$

Hierin bedeuten: R (kg) den durch die Geschwindigkeit v (m/sec) auf der Scheibe F (qm) hervorgerufenen Druck, γ (kg/cbm) die Luftdichte, g (m/sec²) die Erdbeschleunigung und ζ einen durch Eichung bestimmten dimensionslosen Koeffizienten. Hieraus wird errechnet

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot R}{\zeta \cdot \gamma \cdot F}}.$$

Es wird dabei vorausgesetzt, daß der Koeffizient ζ nicht abhängig von der Geschwindigkeit ist.

Für seine Größe kommen verschiedene Angaben in Betracht.

Eiffel¹⁾ findet für eine Kreisscheibe von 150 mm Durchmesser den Koeffizienten $K = 0,066^2$.

¹⁾ La Résistance de l'air, Paris 1911.

²⁾ Es ist gegeben K durch die Beziehung

$$K = \frac{R}{F \cdot v^2}, \text{ worin bedeuten:}$$

In der gewählten dimensionslosen Bezeichnung ist K bestimmt durch

$$\zeta_{\text{Eiffel}} = 8 \cdot 0,066 = 0,528.$$

Die Modellversuchsanstalt der Motorluftschiff-Studiengesellschaft in Göttingen hatte auf das Ersuchen des Aerodynamischen Instituts in Aachen eine Kreisscheibe von 150 mm Durchmesser, die auch für die hier bearbeiteten Versuche verwandt wurde, in ihrem Luftkanal geprüft und an dasselbe folgende Angaben über diese Scheiben gesandt:

$v^2 \cdot \frac{\gamma}{g}$	$\frac{R}{v^2 \frac{\gamma}{g}}$
1,82	0,01015
4,12	0,01032
6,57	0,01042
9,15	0,01040.

Da $F = 0,01767$ qm ist, so ergibt sich der Koeffizient ζ hieraus zu

$$\begin{array}{r} \zeta \\ 0,575 \\ 0,585 \\ 0,591 \\ 0,589 \\ \hline \text{im Mittel } \zeta_{\text{Göttingen}} = 0,585. \end{array}$$

Die beiden Werte von Eiffel und Göttingen unterscheiden sich um 10 %!

Es war notwendig, bei diesen so sehr voneinander abweichenden Angaben eine eigene Eichung vorzunehmen. Auch sollte Aufschluß darüber erhalten werden, welchen Einfluß die hinter der Scheibe liegende Trag- und Dämpfungsröhre und der ganze hinter dieser liegende Aufbau des Schreibwerkes auf den Koeffizienten der Scheibe haben. Zu diesem Zweck wurde der vollständige Apparat in den Luftstromkanal des Aachener aerodynamischen Institutes gebracht und dort der Widerstandskoeffizient ζ der Scheibe ermittelt¹⁾.

R (kg) den gemessenen Widerstand, F (qm) den Inhalt der Fläche, v (m/sec) die erreichte Geschwindigkeit. Es ist also K ein Koeffizient, in welchem die Luftdichte nicht eliminiert ist. Die Umrechnung in einen dimensionslosen Koeffizienten erfolgt durch die Beziehung

$$\zeta = K \cdot \frac{g}{\gamma}.$$

Eiffel hat seine Werte auf 15 % und 760 mm Q. S. zurückgeführt. Für diesen Fall ist

$$\gamma = 1,293 \cdot \frac{273}{288} = 1,225 \text{ kg/m}^3.$$

Es gilt mithin allgemein für die Umformung der Eiffelschen Koeffizienten in dimensionslose Größen die Beziehung

$$\zeta = \frac{9,81}{1,225} \cdot K = 8,00 \cdot K.$$

¹⁾ Da die beiden anderen Laboratorien, aus welchen die angeführten Angaben stammen, in der Literatur bekannt sind (Z.Ver. Deutsch. Ing., Jahrg. 1909, S. 1711ff.; Eiffel, La résistance de l'air), ist es von Interesse zu wissen, wie der Aachener Kanalstromapparat ausgeführt ist.

Nach Vorversuchen wurden am 23. Januar 1912 in fünf je durchschnittlich 10 Minuten dauernden Versuchen die Winddrucke sowohl durch die Druckscheibe auf das zugehörige Papierband des Versuchsapparates als auch auf die Walze des Hydroapparates aufgezeichnet. In beiden Versuchskurven sind die Änderungen des Luftdruckes deutlich wahrnehmbar. Das Diagramm des Hydroapparates wurde jedesmal planimetriert. Die Kurven der Druckscheibe wurden in der Weise ausgewertet, daß auf alle 5 cm Papierband, das ist alle $2\frac{1}{2}$ Sekunden, ein Wert abgegriffen wurde; aus diesem dann wurde der mittlere Druck ermittelt¹⁾.

Die Ergebnisse der Eichung gibt eine Übersicht wieder.

Eichung der Druckscheibe im Luftstromkanal des aerodynamischen Institutes der Königlichen Technischen Hochschule Aachen am 23. Januar 1912.

Ein Luftstrom von v m/sec besitzt eine Geschwindigkeitshöhe:

$$\frac{v^2}{2g} = h \text{ (m L S)} = \frac{h}{\gamma} \text{ (mm W.S.)}$$

wobei das spezifische Gewicht der Luft γ (kg/m³) bestimmt ist durch:

$$\gamma = 1,293 \frac{273 \cdot H}{760 (273 + t)} = 0,465 \frac{H}{(273 + t)}$$

Es wird

$$v^2 = \frac{2g}{\gamma} \cdot h$$

wenn h in mm W.S. gemessen wird. Der Widerstand R (kg) auf die Druckscheibe ($F = 0,01767 \text{ m}^2$) ist

$$R = \zeta \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2 = \zeta \cdot 2 h \cdot F,$$

hieraus

$$\zeta = 28,25 \frac{R}{h}$$

Versuchsnummer	1	2	3	4	5	Mittelwert
Druckhöhe h (mm W.S.) . . .	20,85	22,63	23,55	23,60	24,30	22,57
Widerstand R (kg)	0,444	0,474	0,486	0,484	0,499	
Verhältnis R/h	0,0213	0,02082	0,02062	0,0205	0,0205	
Koeffizient ζ	0,602	0,592	0,585	0,582	0,586	0,590

Es wird aus der Außenluft durch einen großen, bis 53 KW bzw. 72 PS erfordernden Ventilator die Luft in einen geraden Kanal von 2×2 m eingesaugt und wieder ins Freie geblasen. Es sind bisher damit Luftgeschwindigkeiten von über 25 m/sec erreicht worden. Die Geschwindigkeit wurde gemessen mit einer Pitotschen Röhre, welcher ein sog. Hydroapparat angeschlossen war. Es ist dies ein Hubverstärker der gemessenen Luftgeschwindigkeitshöhe. Er zeichnet dieselbe in vierfacher Wassersäule auf eine Papiertrommel auf. Nach einem neueren Vergleiche des Aggregates Pitotsche Röhre und Hydroapparat mit einem Fueschen Schalenkreuzanemometer (in der Fabrik geeicht) ist die Übertragung im Mittel 4,04 mal Angaben Wassersäule.

¹⁾ Auf die Eichung der Feder soll später eingegangen werden. Hier genüge die Angabe, daß mit der Einheitsdurchfederung von 1 mm bei der Belastung von 9,6 g gerechnet wurde.

Mittlere Luftgeschwindigkeit ($H = 738$ mm Q. S., $t = + 5^{\circ}$)

$$v = 18,9 \text{ m/sec.}$$

Es zeigt sich, daß im Mittel ein Koeffizient $\zeta = 0,590$ gefunden wurde, der dem Göttinger Wert wesentlich näher liegt als dem Eiffelschen. Dieser Koeffizient wurde bei einem mittleren

$$v^2 \cdot \frac{\gamma}{g} = \frac{358 \cdot 1,232}{9,81} = 45$$

bestimmt, also bei erheblich höheren Geschwindigkeiten als in den Laboratorien von Göttingen und Eiffel, Geschwindigkeiten, die den Flugzeuggeschwindigkeiten gleichkommen.

Da die Geschwindigkeitsmessung im Flugzeug durch die Bewegung der Scheibe gegen ruhende Luft, also im umgekehrten Prinzip als im Luftstrom, erfolgt, wurde die Eichung auf einem Kraftwagen wiederholt. Diese Methode kommt den Verhältnissen im Fluge näher.



Abb. 8. Eichung der Druckscheibe auf Kraftwagen.

Von den Benzwerkstätten in Berlin-Moabit wurde in zuvor-kommender Weise ein Kraftwagen zur Verfügung gestellt. Die Versuche fanden auf der Döberitzer Heerstraße bei Spandau bei ruhigem Wetter am 16. Februar 1912 statt. Das Instrument war auf einer 3 m hohen Stange angebracht, die durch Verspannen mit dem Wagen gehalten wurde. Es wurde jedesmal in gleichmäßig voller Fahrt 1 km abgefahren und mit 2 Uhren vom Wagen aus die Strecke abgestoppt.

Bei der Einstellung der Feder war es leider versäumt worden, mit einer Geschwindigkeit von 90 km/st zu rechnen. Als diese später erreicht wurde, gelangte die Durchfederung bis an ihren hinteren Anschlag. Der genaue Druck konnte deshalb für diese Geschwindigkeit nicht festgestellt werden.

Die Versuche wurden nicht wiederholt, da infolge der Schwankungen des Wagens die Stöße auf das Instrument so heftig waren, daß seine Sicherheit stark gefährdet erschien.

Immerhin konnte durch den Eichungsversuch mittels Kraftwagens der Hinweis gewonnen werden, daß der Koeffizient ζ der Göttinger bzw. Aachener Messung wahrscheinlicher erscheint als der Eiffelsche. Über die Versuche gibt eine Tabelle Aufschluß.

Eichung der Druckscheibe durch Kraftwagen auf der Döberitzer Heerstraße.
16. Februar 1912.

Kraftwagen der Benz-Werkstätten, Berlin-Moabit. Am Steuerrad Herr Grochwitz.

Versuch Nr.	Uhr I Sekunden	Uhr II Sekunden	Abgestoppte Zeit Sekunden	m/sec	km/st
I	42,0	41,8	41,9	23,85	86,00
II	43,4	43,0	43,2	23,20	83,40
III	40,0	40,4	40,2	24,90	89,50
IV	42,0	41,8	41,9	23,85	86,00
V	40,2	39,8	39,9	25,05	90,40
VI	72,6	—	72,6	13,75	49,50

Alle Versuche konnten nicht herangezogen werden, da infolge der Stöße die Schreibtinte herausgespritzt war und somit von Versuch von Nr. 5 ab der Winddruck nicht mehr aufgezeichnet wurde.

Es ergibt sich aus den vier ersten Versuchen eine mittlere Geschwindigkeit von 23,95 m/sec, d. i. ein $v^2 = 575$ und

$$v^2 \frac{\gamma}{g} = 575 \frac{1,28}{9,81} = 75.$$

Der hintere Anschlag der Druckscheibe entsprach einem Druck $R = 0,732$ kg, der Koeffizient ζ rechnet sich hieraus zu

$$\zeta = \frac{R \cdot g}{F \cdot v^2 \cdot \gamma} = \frac{(> 0,732)}{0,01767 \cdot 75} = > 0,552.$$

Dieser so gefundene Wert liegt zwischen der Eiffelschen Angabe einerseits und den Göttinger bzw. Aachener Messungen andererseits. Seine wahre Größe übersteigt die errechnete Zahl. Es ist mithin wohl zulässig, daß für den im Aachener Luftstromkanal gefundenen Koeffizienten sich entschieden und dieser den Geschwindigkeitsmessungen am Flugzeuge zugrunde gelegt wird.

Da infolge des starken Winddruckunterschiedes bei den verschiedenen Flugzeuggeschwindigkeiten große Durchfederungen der Zugfeder erforderlich sind, die zur Aufzeichnung nutzbare Breite des Papierbandes im Vergleich zu diesen aber gering ist, so wurde ein einstellbarer Leergang a vorgesehen, der nur begrenzte Bereiche der Feder zur Aufzeichnung zuließ. Die Stoßstange der Druckscheibe erreichte erst bei bestimmter Vorbelastung einen den Erfordernissen entsprechend eingestellten Mitnehmer des Schreibschlittens. Dieser Schlitten wurde durch eine schwache Gegenfeder gegen die Stoßstange gedrückt, so daß bei Abnahme des Druckes auf die Scheibe der Schlitten der Bewegung der Stoßstange zu folgen gezwungen war.

Die Eichung der Feder erfolgte, in horizontaler Lage eingebaut, unter Wirkung der Gegenfeder des Schreibschlittens. Es wurde mit verschiedenem Leerlauf a die Durchfederung gemessen. Eine Tabelle gibt die Eichungsergebnisse wieder.

Die Einheitsstrecken der Feder schwanken unbedeutend infolge der Einstellung ihres Leerlaufes, da der Nullpunkt der Gegenfeder durch diese Einstellung nicht gleichzeitig verschoben wird. Die Gegenfeder ist aber sehr schwach (ihre

Belastung ist an einem Anschlag des Schlittens 20 g, am anderen etwa 10 g), die hierdurch hervorgerufene Verschiedenheit ist belanglos.

Eichung der Zugfeder der Druckscheibe, zusammenwirkend mit ihrer Gegenfeder.

Nullast: 214 g; a = 18,0 mm.

Belastung g	214	264	314	364	414	464	514	564	614	664
Ablesungen mm	48,7	44,6	39,6	34,0	29,4	22,4	18,1	12,9	7,8	2,2
	48,6	43,6	38,4	33,6	27,7	22,2	17,0	12,4	6,4	—
Mittelwert mm	48,7	44,1	39,2	33,5	28,6	22,3	17,6	12,7	7,1	2,2
Durchfederung für 50g: mm	5,55	4,90	5,70	4,95	5,25	4,75	4,90	5,55	4,9	—

mittlere Durchfederung für 50 g: 5,15 mm.

$$\frac{5,15}{50} \cdot 214 = 22,1;$$

$$b = 22,1 - 18,0 = 4,1 \text{ mm.}$$

Nullast: 214 g; a = 19,6 mm.

Belastung g	219	269	319	369	419	469	519	569	619	669
Ablesungen mm	48,8	44,3	38,7	34,3	28,6	23,9	18,8	13,8	8,2	2,6
	48,6	44,2	39,7	33,7	28,3	22,9	17,4	11,9	8,4	—
	48,7	44,7	40,4	34,8	29,7	24,6	19,9	14,8	9,4	6,2
	48,7	44,6	39,0	33,8	28,7	23,0	18,0	12,5	8,5	4,4
	—	44,6	39,6	34,4	29,2	23,9	18,3	14,2	8,2	3,4
	48,8	44,4	38,9	33,9	28,4	23,2	17,9	12,6	7,6	2,4
	—	44,6	39,6	34,3	29,2	23,7	18,4	13,2	7,8	2,6
Mittelwert mm	48,7	44,5	39,3	34,1	28,9	23,5	18,4	13,1	8,1	2,6
Durchfederung für 50g: mm	4,25	5,12	5,23	5,25	5,37	5,09	5,34	4,92	5,49	—

mittlere Durchfederung für 50 g: 5,23 mm.

$$\frac{5,23}{50} \cdot 219 = 22,9;$$

$$b = 22,9 - 19,6 = 3,3 \text{ mm.}$$

Nullast: 328 g; a = 30,6 g.

Belastung g	328	378	428	478	528	578	628	678	728	778
Ablesungen mm	48,8	44,5	39,7	32,8	28,9	23,4	17,6	13,1	8,1	2,1
	48,6	42,4	37,6	32,6	26,9	21,6	17,1	12,6	6,7	2,2
	—	44,0	38,6	33,4	27,9	22,7	17,3	11,1	6,6	1,5
	48,8	43,4	38,1	32,5	27,3	21,2	16,3	11,8	7,1	1,6
	—	43,7	38,7	33,4	28,1	23,0	17,4	12,3	7,2	1,6
Mittelwert mm	48,7	43,4	38,4	32,8	27,7	22,2	17,1	12,1	7,1	1,8
Durchfederung für 50g: mm	5,29	5,01	5,59	5,16	5,45	5,09	5,06	4,92	5,36	—

mittlere Durchfederung für 50 g: 5,22 mm.

$$\frac{5,22}{50} \cdot 328 + 34,2;$$

$$b = 34,2 - 30,6 = 3,6 \text{ mm.}$$

Mittelwert von b = 3,5 mm.

Aus der Tabelle geht aber hervor, daß die Einheitsstrecken bei den verschiedenen Belastungen stark voneinander abweichen. Es wurde jedoch keine wiederkehrende Regelmäßigkeit in diesen Abweichungen gefunden, so daß bei den Ver-

suchen mit einer mittleren Einheitsbelastung für den durchgefedeerten Millimeter gerechnet werden konnte.

Bei schwacher Belastung der Feder waren die Einheitsstrecken stark abweichend, ferner besaß die Feder eine gewisse Vorspannung. Doch dieser Bereich kam niemals zur Geschwindigkeitsmessung in Frage.

Unter der bei diesem Umstand berechtigten Annahme, daß eine regelmäßige Durchfederung von der Nullast ab erfolge, wurde die ideale Länge der Feder bei Nullast bestimmt. Es ergab sich eine Korrektur von $b = + 3,5$ mm, einer Strecke, die der jeweils gemessenen Durchfederung zuzuzählen ist, um die ideelle Durchfederung bei gleichmäßigen Einheitsstrecken zu bestimmen.

Es wurde bei der Geschwindigkeitsmessung mit einer Belastung von 9,6 g gerechnet, um die Zugfeder mit Gegenfeder um 1 mm zu längen.

Am Schlusse der Versuche wurde die Feder nachgeprüft, aber kein Nachlassen festgestellt, was zu erwarten war, da auch ihre Belastung die Festigkeitsgrenzen niemals überstieg¹⁾.

Die Geschwindigkeitsmessung wurde auf folgende Art vereinfacht. Die Hauptversuche an den Flugzeugen fanden im Frühjahr statt. Es konnte im allgemeinen mit einer Temperatur von im Mittel etwa 15° gerechnet werden²⁾. Der Barometerstand wurde zu 755 mm Q.S. angenommen. Dies geschah, weil die Flüge durchschnittlich in etwa 40 m Höhe über dem Erdboden stattfanden, das wäre für den Johannisthaler Platz eine Meereshöhe von etwa 80 m. Unter Berücksichtigung dieser Höhe würde dann der Barometerstand am Meeresspiegel etwa 760 mm Q.S. betragen.

Bei $t = 15^\circ$ und $H = 755$ mm Q.S. ist die Luftdichte

$$\gamma = 1,293 \frac{755}{760} \cdot \frac{273}{288} = 1,218 \text{ kg/m}^3,$$

die Beziehung

$$R = \zeta \cdot F \cdot v^2 \frac{\gamma}{g}$$

läßt sich nach v auflösen in

$$v = \sqrt{\frac{g}{\gamma} \cdot \frac{1}{\zeta \cdot F} \cdot \sqrt{R}}$$

¹⁾ Es berechnet sich der zulässige Druck R (kg) auf die Feder nach der Beziehung

$$R = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d^3}{r} \cdot k_d;$$

hierin bedeuten d (cm) die Drahtstärke, r (cm) den Windungsdurchmesser, k_d (kg/qcm) die zugelassene Drehungsbeanspruchung. Die Zugfeder besaß 43 Windungen. Es war $d = 0,1$ cm, $r = 0,675$ cm. Zugelassen sollte werden = 4000 kg/qcm. Hieraus kann R im Maximum genommen werden

$$R_{\max} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{0,1^3}{0,675} \cdot 4000 = 1,160 \text{ kg.}$$

da bei 26 m/sec die Belastung der Feder aber erst 0,835 g beträgt, so wurde diese Beanspruchung niemals erreicht.

²⁾ Bei den Versuchen mit dem 50-PS-Mercedes wurde mit der damals herrschenden geringeren Temperatur gerechnet.

Da für die gewählte Scheibe die Konstanten gelten $F = 0,01767 \text{ qm}$ und $\zeta = 0,590$, so wird

$$v = 27,8 \cdot \sqrt{R}.$$

Es ist aber, wenn f (cm) die ideelle Durchfederung der Zugfeder bedeutet,

$$R = 0,096 \cdot f,$$

also wird

$$v = 8,62 \sqrt{f}.$$

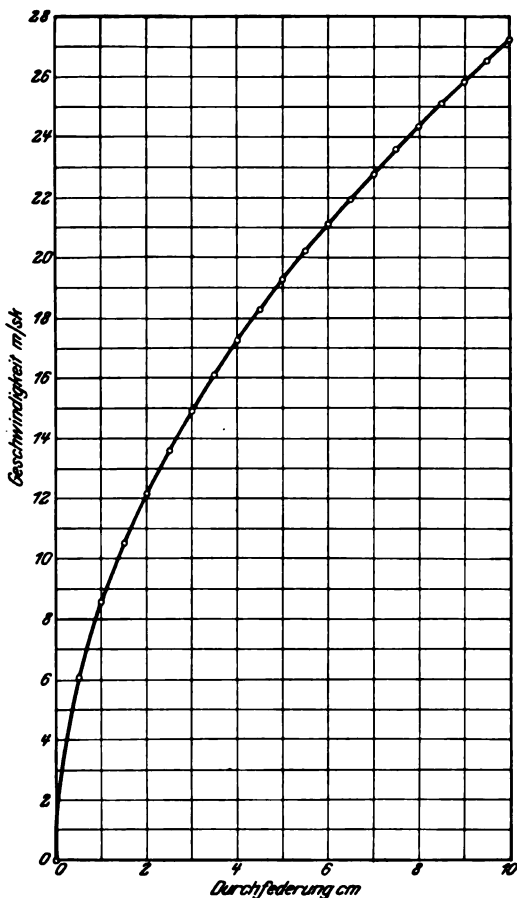


Abb. 9.

Eine Tabelle und ein Schaubild gibt den Zusammenhang von Geschwindigkeit mit Durchfederung wieder. Es ist auf beiden zu erkennen, daß bei höheren Geschwindigkeiten die Zugfeder gegen Geschwindigkeitsänderungen empfindlicher wird.

Abhängigkeit von Federlänge und Geschwindigkeit.

$$v = 8,62 \sqrt{f}$$

f cm	v	
	msec ⁻¹	kmst ⁻¹
0,5	6,09	21,90
1,0	8,62	31,00
1,5	10,56	38,00
2,0	12,19	43,85
2,5	13,63	49,20
3,0	14,93	53,80
3,5	16,13	58,10
4,0	17,25	62,20
4,5	18,30	65,80
5,0	19,29	69,40
5,5	20,23	72,9
6,0	21,13	76,0
6,5	21,97	79,1
7,0	22,80	82,2
7,5	23,60	85,0
8,0	24,37	87,6
8,5	25,12	90,5
9,0	25,85	93,1
9,5	26,56	95,6
10,0	27,25	98,2

c) Pendel.

Zur Bestimmung der Wagerechten wurde ein Pendel besonderer Konstruktion gewählt.

Es ist schwierig, mit einem Pendel auf einem sich ungleichförmig bewegenden Gegenstand in jedem Augenblick die Wagerechte festzustellen, da Geschwindigkeitsänderungen jedesmal auch Winkeländerungen der Richtkraft zur Folge haben. Diese Geschwindigkeitsänderungen sind nicht immer deutlich erkennbar. Es

kommt auf die Änderung der absoluten Geschwindigkeit w an, die sich aus der Flugzeuggeschwindigkeit v und der Windgeschwindigkeit zusammensetzt. Das



Abb. 10.

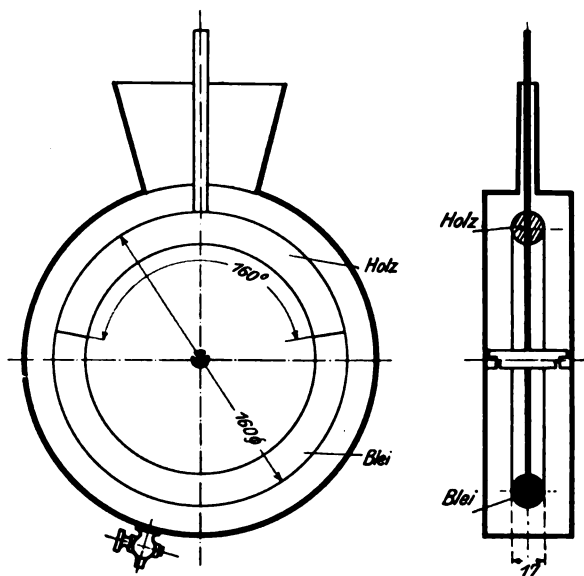


Abb. 11. Pendel.

Pendel aber hat seine Schwingungsebene in der Richtung von v . Änderungen der absoluten Geschwindigkeit

$$\pm \frac{dw}{dt}$$

beeinflussen das Pendel mit der Größe

$$\pm \frac{dw}{dt} \cdot \cos \delta.$$

Im Vergleich zur Flugzeuggeschwindigkeit war die Windgeschwindigkeit in den meisten Fällen gering. Sie wurde während des Fluges nicht gemessen und ihre Richtung zur Fahrzeuggeschwindigkeit nicht festgelegt. Es ist ein Anhalt für δ bei den vorliegenden Versuchen also nicht gegeben. Da δ ein kleiner Winkel ist, so wurde $\cos \delta = 1$, und damit auch Änderungen der absoluten Geschwindigkeit solchen der relativen Geschwindigkeit gleichgesetzt. Wie stark geringe Beschleunigungen oder Verzögerungen das Pendel beeinflussen können, zeigt, daß eine Geschwindigkeitsänderung von nur $\pm 0,171 \text{ m/sec}^2$ genügt, um eine Abweichung von 1° hervorzurufen.

Diese Stöße auf das Pendel infolge Geschwindigkeitsänderungen des Flugzeugs mußten abgedämpft werden. In dieser Abdämpfung liegt eine Schwierigkeit, da nämlich Drehungen des Flugzeugs ihre Einwirkung auf das Pendel übertragen können, das durch sie allein nicht beeinflußt werden würde.

Ein gewöhnliches Stangenpendel mit kreissektorförmigem Dämpfungskasten wird bei Drehungen des Kastens notwendigerweise durch das Vorbeifließen der

Dämpfungsflüssigkeit mitgenommen, ein Umstand, der durchaus unerwünscht ist. Gibt man dem Pendel eine symmetrische, kreisscheibenförmige Gestalt und läßt das Gehäuse diese Scheibe konzentrisch umschließen, dann vermag das Gehäuse eher allein sich zu drehen, ohne dabei die Dämpfungsflüssigkeit und die Pendelscheibe mitzunehmen. Diese Wirkung konnte bei der Ausführung nicht ganz erreicht werden, da die notwendige Dämpfungsflüssigkeit zu zäh war und an der Gehäusewand haften blieb. Immerhin waren bei langsamen Drehungen die Störungen gering.

Das Pendel hat folgende Bestimmungsgrößen: Gewicht $G = 1074$ g; Masse $M = 1,095$ g; Trägheitsmoment $J = 43,1$ g cm²; Schwerpunktsabstand $e = 1,51$ cm; statisches Moment $S = 1623$ gem.

Es ergibt sich hieraus die Schwingungsdauer des Pendels zu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{S}} = 1,025 \text{ sec.}$$

Es zeigte sich, daß diese errechnete Schwingungsdauer des ungedämpften Pendels nicht erreicht wurde. Es wurde nur eine Schwingungsdauer gemessen von $T = 1,016$ sec.

Es wurde genau geprüft, ob sich bei dem Pendel eine Verschiedenheit der Einstellung zeigen würde bei Schräglagen seiner Lagerschneiden. Es konnte jedoch bei den in Betracht kommenden Schräglagen von etwa 20° keine Beeinträchtigung gefunden werden.

Um das Pendel abzdämpfen, wurden verschiedene Öle verwandt. Den Temperaturen der Außenluft entsprechend kamen leicht- und dickflüssige zur Verwendung. Um einen Anhalt zu bekommen, wie stark die Dämpfung auf das Pendel wirke, wurde nach jedem Versuch die Dämpfung experimentell festgestellt.

Ein gedämpftes Pendel mit dem Trägheitsmoment J , einem statischen Moment S und einem Dämpfungsfaktor K (gem²/sec) genügt folgender Schwingungsgleichung:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + 2K \frac{d\alpha}{dt} + S \cdot \alpha = 0.$$

Man erhält aus dieser Gleichung aufgelöst α und $\frac{d\alpha}{dt}$. Zur Vereinfachung wird gesetzt

$$a = \frac{K}{J}; \quad b = \frac{S}{J}.$$

A und B seien zwei Konstanten. Hiermit wird

$$\alpha = e^{-at} [A \cdot \cos(t \sqrt{b - a^2}) + B \sin(t \sqrt{b - a^2})]$$

und

$$\begin{aligned} \frac{d\alpha}{dt} = & + e^{-at} [\cos(t \sqrt{b - a^2}) (-a \cdot A + B \sqrt{b - a^2}) \\ & + \sin(t \sqrt{b - a^2}) (-A \sqrt{b - a^2} - B \cdot a)]. \end{aligned}$$

Es gelten die Grenzbedingungen für $t = 0$

$$\begin{aligned}
 1. \quad & \alpha = \alpha_0 \\
 & \alpha_0 = 1 [A \cdot 1 + B \cdot 0] \quad A = \alpha_0 \\
 2. \quad & \frac{d\alpha}{dt} = 0 \\
 & 0 = 1 \{ 1 [-a \cdot A + B \sqrt{b - \alpha^2}] + 0 \cdot [] \} \\
 & B = \frac{a}{\sqrt{b - a^2}} \cdot \alpha_0.
 \end{aligned}$$

Setzt man ein, so erhält man endlich

$$\begin{aligned}
 \text{I} \quad & \alpha = \alpha_0 \cdot e^{-\kappa \frac{t}{J}} \left[\cos \left(\frac{t}{J} \sqrt{S \cdot J - K^2} \right) + \frac{K}{\sqrt{S \cdot J - K^2}} \cdot \sin \left(\frac{t}{J} \sqrt{S \cdot J - K^2} \right) \right] \\
 \text{II} \quad & \frac{d\alpha}{dt} = -\alpha_0 \cdot e^{-\kappa \frac{t}{J}} \frac{S}{\sqrt{S \cdot J - K^2}} \cdot \sin \left(\frac{t}{J} \sqrt{S \cdot J - K^2} \right).
 \end{aligned}$$

In Gleichung I wird $\alpha = 0$, wenn die $[] = 0$. Dies ist der Fall, wenn

$$\operatorname{tg} \left(\frac{t \sqrt{S \cdot J - K^2}}{J} \right) = -\frac{\sqrt{S \cdot J - K^2}}{K},$$

hieraus

$$\text{III} \quad t_0 = \frac{J}{\sqrt{S \cdot J - K^2}} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(-\frac{\sqrt{S \cdot J - K^2}}{K} \right).$$

Diese Zeit t_0 gibt an, wie lange das Pendel braucht, um aus seiner ersten Ausschlagslage bis zur Vertikalen zu schwingen.

Bei den vorliegenden Versuchen wurde das Pendel stets so abgedämpft, daß höchstens eine ganze Periode zu erkennen war, deren zweite Hälfte schon so glatt in die Ruhelage einlief, daß sie für die Auswertung der Einstellung keine Fehlerquelle mehr mit sich bringen konnte. Es kommt daher auf die Kenntnis der Zeit an, die das Pendel braucht, um aus seiner Ausschlagstellung zum ersten Male durch die Vertikale durchzuschwingen. Diese Zeit t_0 gibt dann auch ein Maß für die zeitliche Verzögerung der Einstellung mit einer genügenden Genauigkeit.

Aus dieser nach Beendigung der Versuche festgestellten Zeit t_0 kann dann unter Zuhilfenahme einer Tabelle und eines Schaubildes die Dämpfung K ermittelt werden, die während der Versuche am Pendel gewirkt hat. Das Verfahren ist etwas roh, genügt aber für den vorliegenden Zweck.

Abhängigkeit von Pendeldämpfung zur Pendelschwingungsdauer.

Für $K = 264,5$ wird $t_0 = \infty$.

K	t_0	K	t_0	K	t_0
0	0,256	100	0,338	200	0,604
25	0,273	125	0,382	225	0,803
50	0,292	150	0,430	240	1,050
75	0,316	175	0,498	250	1,403

Da die Pendelausschläge nicht größer als wenige Grad sind, so können Ausschlagbogen und Sehne gleichgesetzt werden. Es ist der Schreibradius des Pendels 148 mm. Es entsprechen also 2,57 mm einem Ausschlag von 1° .

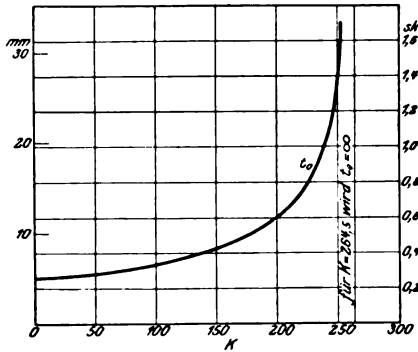


Abb. 12.

Um einen größeren Winkelbereich benutzen zu können, kann der Schreibstift des Pendels 10 mm seitlich verschoben werden, so daß er nicht mehr senkrecht über dem Schwerpunkt liegt. Der Schreibradius verlängert sich zwar hierdurch etwas, dies hat aber auf den Ausschlag für 1° wenig Einfluß.

Korrekturen für die Pendeleinstellung bei Flugzeugbeschleunigungen oder Verzögerungen.

$$\nu = \text{tg } \nu = \frac{p}{g}$$

p msec ⁻²	ν°	p msec ⁻²	ν°	p msec ⁻²	ν°	p msec ⁻²	ν°
0,05	0,29	0,15	0,88	0,25	1,47	0,35	2,05
0,10	0,59	0,20	1,17	0,30	1,76	0,40	2,34

d) Windfahne.

Die horizontale Windfahne hatte den Zweck, die Richtung der Luftströmung an der Stelle, an welcher der Versuchsapparat angeordnet war, festzustellen. Sie bestand aus zwei gegeneinandergestellten gewölbten Flächen von den Abmessungen $60 \cdot 240$ mm und einem Wölbungspfeil von $1/12$.

Die Neigung einer Fläche zur Symmetrieachse der Fahne beträgt 6° . Eine Abweichung des Luftstromes um 1° bei einer Luftgeschwindigkeit von 18 m/sec übt auf die Fahne eine Richtkraft aus von

$$R = 0,056 \text{ kg}^1).$$

Diese Richtkraft greift an einen Hebelarm von 140 mm an. Der Hebelarm des Schreibschlittens ist etwa 200 mm. Demnach ist am Schreibschlitten die Richtkraft noch

$$\frac{140}{200} \cdot 0,056 = 0,039 \text{ kg.}$$

Diese Kraft ist genügend, um die Reibungswiderstände des Schlittens zu überwinden und eine feine Einstellung zu ermöglichen.

Eine Prüfung auf genaue Einstellung der Windfahne in ihre Nullachse ergab nur einen Fehler von etwa $2/3\%$, welcher jedoch so genau nicht ermittelt werden konnte, daß eine Korrektur der Windfahnenangaben dadurch gerechtfertigt war.

¹⁾ Berechnet nach Föppl, Windkräfte an ebenen und gewölbten Platten, S. 58.

Die Ausbalancierung der Windfahne hatte erhebliche Trägheit zur Folge. Eine Öldämpfung mußte vorgesehen werden, welche die Schwingungen des Instrumentes abklingen ließ.

Der Drehpunkt der Fahne lag weit entfernt von dem Schreibwerk. Ein Zwischenglied mußte eingefügt werden. Hierdurch wurden die Aufzeichnungen der Windfahne in ihren verschiedenen Stellungen voneinander abweichend.

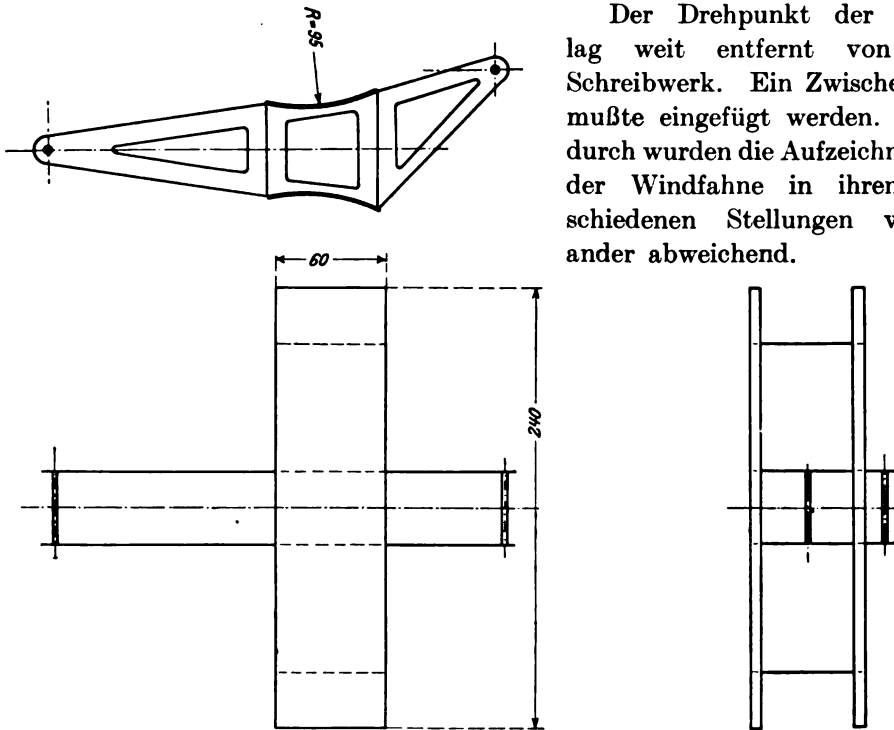


Abb. 13. Windfahne.

Eine Tabelle und eine Kurve geben den Verlauf der Ausschläge in Funktion der Ablesungen wieder.

Ablesungen der Windfahne.

mm	γ°	mm	γ°
+ 0,0	+ 0,00	+ 15,0	+ 3,80
+ 2,5	+ 0,62	+ 17,5	+ 4,44
+ 5,0	+ 1,24	+ 20,0	+ 5,10
+ 7,5	+ 1,87	+ 22,5	+ 5,75
+ 10,0	+ 2,51	+ 25,0	+ 6,41
+ 12,5	+ 3,15	—	—

mm	γ°	mm	γ°
— 0,0	— 0,00	— 15,0	— 3,63
— 2,5	— 0,62	— 17,5	— 4,22
— 5,0	— 1,23	— 20,0	— 4,81
— 7,5	— 1,83	— 22,5	— 5,39
— 10,0	— 2,44	— 25,0	— 5,97
— 12,5	— 3,04	—	—

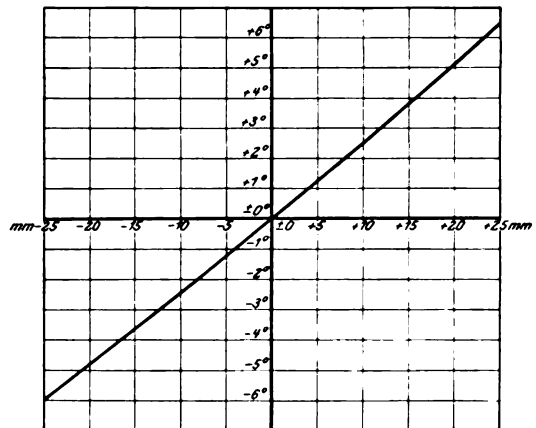


Abb. 14.

Der Nullpunkt der Windfahne konnte am Schreibschlitten verstellbar werden.

Es war damit die Möglichkeit gegeben, verschiedene Meßbereiche der Windfahne auf dem Papierband aufzeichnen zu lassen.

III. Versuchsvorgang und Übersicht über die angestellten Versuche.

Der aus Druckscheibe, Pendel und Windfahne in Verbindung mit dem Schreibwerk zusammenhängende Apparat bildete ein geschlossenes Ganze, das in ein Flugzeug gehängt wurde. Der Flug eines Flugzeugs wurde mit diesem Apparat nach folgenden Überlegungen beurteilt.

1. Ein Flugzeug bewege sich in ruhiger Luft auf horizontaler Bahn. Der durch das Pendel gemessene Winkel und der durch die horizontale Windfahne

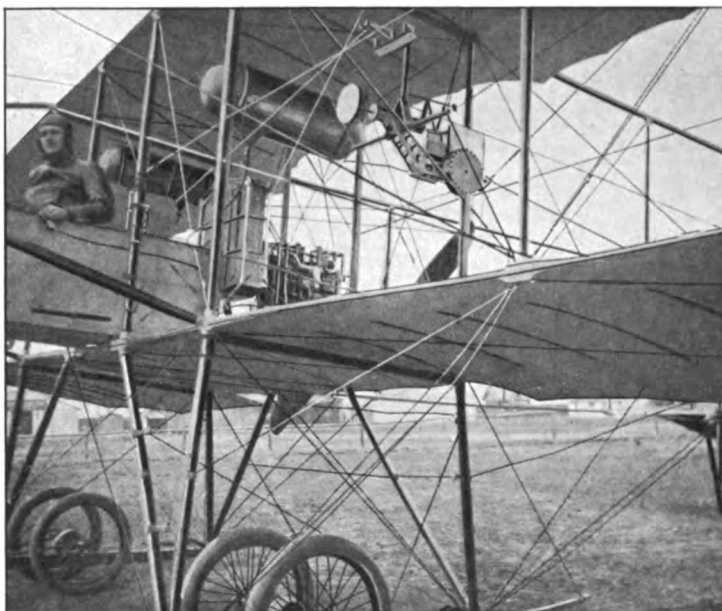


Abb. 15. Einbau des Meßapparates in den 50-PS-Mercedes (Type F, 1911).

an einer Stelle, wo der Luftstrom nicht durch das Flugzeug selbst abgelenkt wird, gemessene Winkel entsprechen einander und geben beide ein Maß für den Anstellwinkel der Tragfläche. Die Geschwindigkeit ist die normale Fluggeschwindigkeit.

2. Ein Flugzeug sei im Steigen oder Fallen begriffen. Die Flächen sind steiler oder flacher gestellt, die Geschwindigkeit ist verringert oder vergrößert gegenüber der normalen Fluggeschwindigkeit. Die Schräglage der Fläche zur Horizontalen wird durch das Pendel, zum Luftstrom durch die horizontale Windfahne gemessen. Ihre Differenz gibt den Ansteig- bzw. Fallwinkel an.

Es war bei den zu den Versuchen benutzten Doppeldeckern am einfachsten, den Apparat zwischen beide Flächen auf einer Seite derart anzubringen, daß er nicht

vom Propellerstrom oder durch das vorgebaute Höhensteuer beeinflusst werden konnte. Die genaue Lage der Versuchsstelle ist in den beigegebenen Zeichnungen der benutzten Flugzeuge kenntlich gemacht.

Diese Anordnung hatte ihre Vorteile in der schnellen Montage und sicheren Verspannung des Apparates. Auch war er gegen Beschädigungen besser geschützt, als wenn er in der Nähe schwerer Teile angebracht wäre. Ein besonderes Gerüst, das am zweckmäßigsten dem Flugzeuge weit vorgebaut wäre und das Instrument in genügender Entfernung von Trag- und Steuerfläche und von der Antriebschraube trüge, wurde nicht vorgesehen, da für die Versuche nur solche Flugzeuge zur Verfügung standen, die für die Ausbildung von Schülern, Teilnahme an Wettbewerben bestimmt und während kurzer Zeit für die Versuche frei verwendbar waren.

Der durch die Tragflächen abgelenkte Luftstrom hatte Abweichungen in den Messungen der Windfahne zur Folge. Es konnten diese jedoch in bestimmter Weise berücksichtigt werden, wie später dargelegt werden wird.

Der Apparat hatte während des Versuchs weiter keine Wartung notwendig. Es war nur erforderlich, daß der Flugzeugführer oder dessen Fluggast das Umlaufwerk des Schreibapparats nach erfolgtem Abflug in Gang setzte und nach der Landung zum Stillstand brachte. Die Führer der Flugzeuge wurden angewiesen, während der Flüge tunlichst die gleiche Höhe einzuhalten und keine besonderen Manöver während derselben auszuführen.

Der Abflug fand auf dem alten Startplatz des Johannisthaler Flugplatzes statt; die Flüge folgten dann der dort vorgeschriebenen Flugordnung und umkreisten den Flugplatz in Linksdrehung. Je nachdem die Flüge weiter oder enger genommen wurden, dehnte sich ein Kreisflug auf $2\frac{1}{2}$ —3 km aus. Dieser Rundflug wurde bei einem Versuche zwei- bis dreimal wiederholt, so daß die Versuchangaben sich auf Strecken bis etwa $7\frac{1}{2}$ km belaufen.

Die in geschlossenem Kreis stattfindenden Flüge besaßen ihre Nachteile, da nach kurzen Strecken geradeaus sofort eine Kurve zu nehmen war. So kommen doch auf etwa $7\frac{1}{2}$ km Fluglänge schon 12 Kurven. Auch ist bei ständigen Kreisflügen die Wirkung des herrschenden Windes nicht klar zu ermitteln, da erfahrungsgemäß örtliche Verhältnisse eine starke Beeinflussung des Windes hervorgerufen haben. Dies gilt namentlich für die Gegenden, in welchen der Flugplatz durch Wald begrenzt ist, und große Luftschiffhallen stehen.

Lange Flüge geradeaus hätten zu Überlandflügen geführt; sie wurden trotz ihrer Vorteile nicht unternommen, weil sich die Flugzeuge zu Überlandflügen teilweise nicht eigneten. Wo dies nicht der Fall war, wurde darauf verzichtet, da mit Überlandflügen ein größeres Risiko verbunden gewesen wäre, das von größeren Mitteln, als für die Versuche vorhanden waren, hätte getragen werden müssen.

Im allgemeinen fanden die Flüge in den Abendstunden oder ganz früh am Morgen statt, wenn die Windstärke klein oder Null war. In einzelnen Fällen war sie erheblich, doch ist dies dann in der Versuchsübersicht besonders angegeben. Die Versuchsdauer wurde mit der Stoppuhr gemessen, die eingehaltene Flughöhe wurde geschätzt.

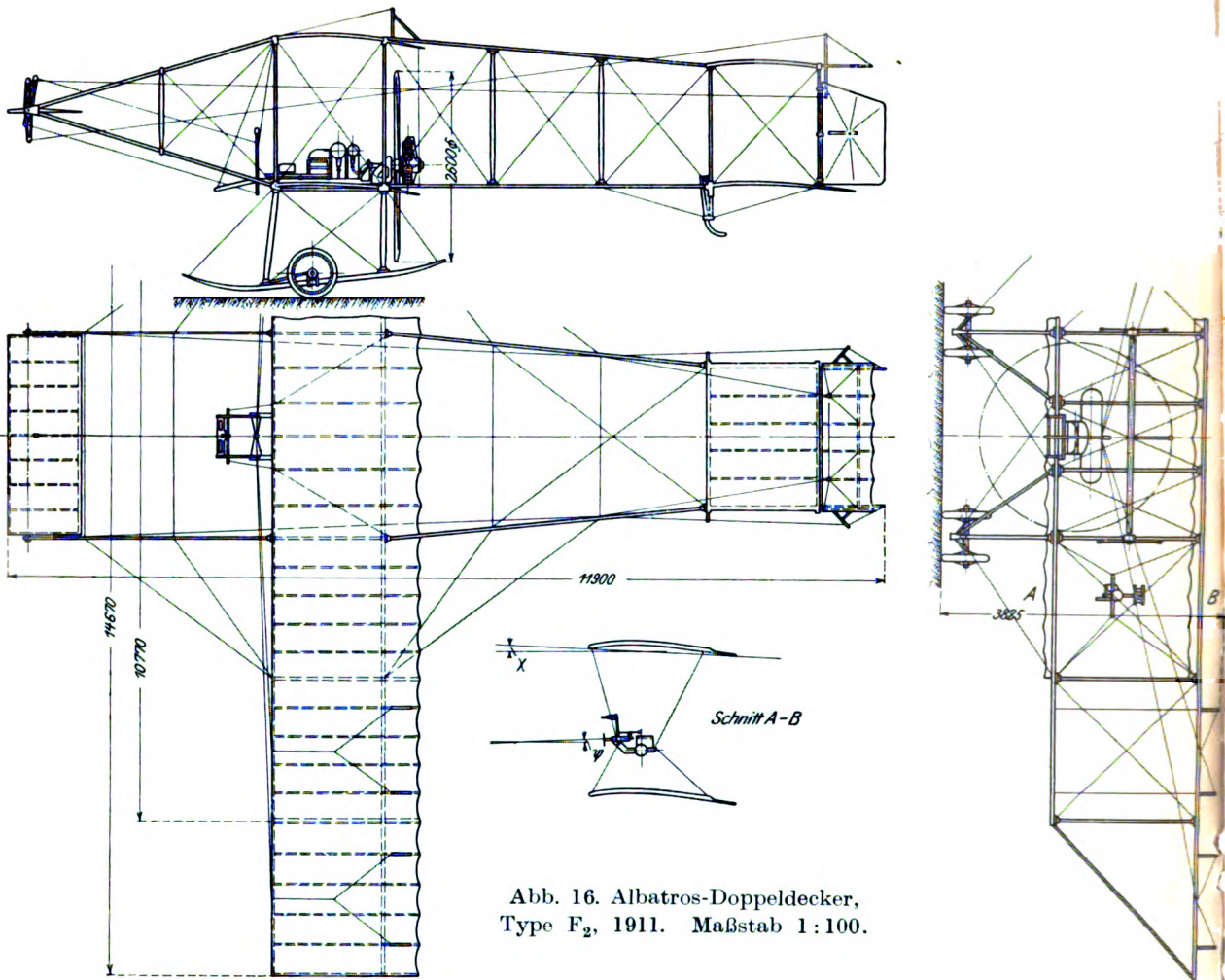


Abb. 16. Albatros-Doppeldecker, Type F₂, 1911. Maßstab 1:100.

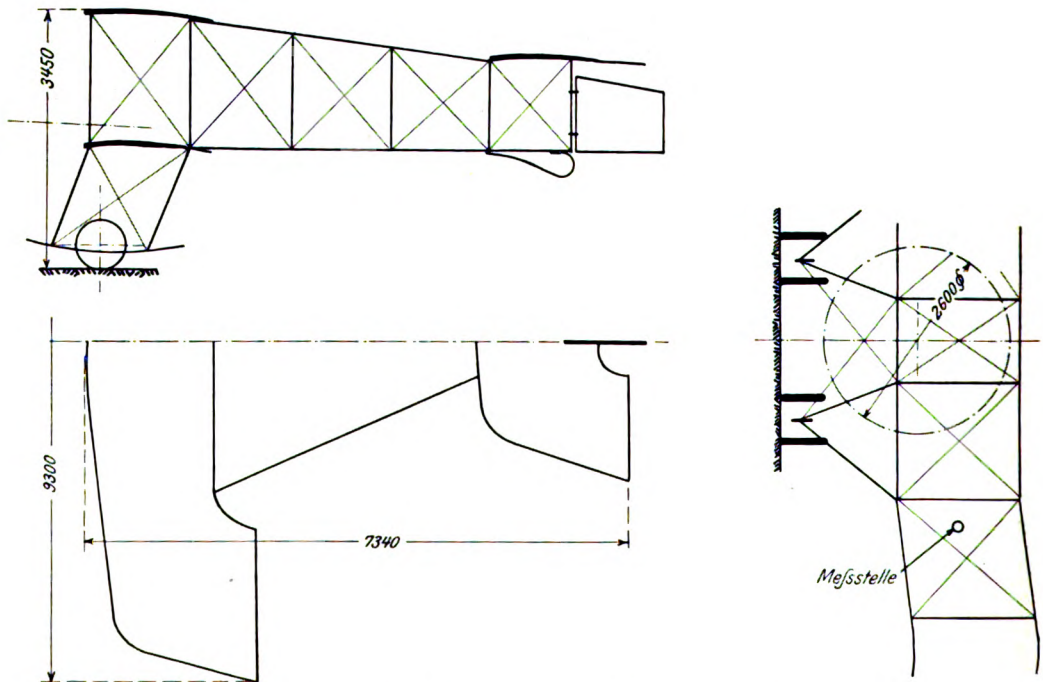


Abb. 17. Albatros-Doppeldecker, Type RZ₁. Maßstab 1:100.

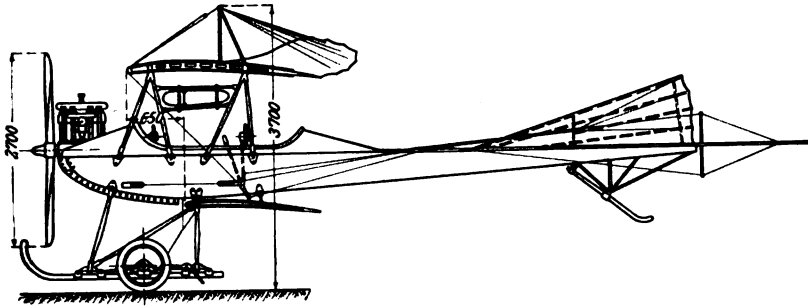
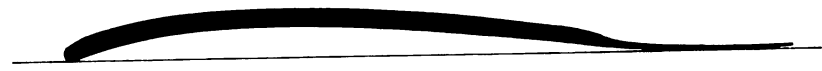
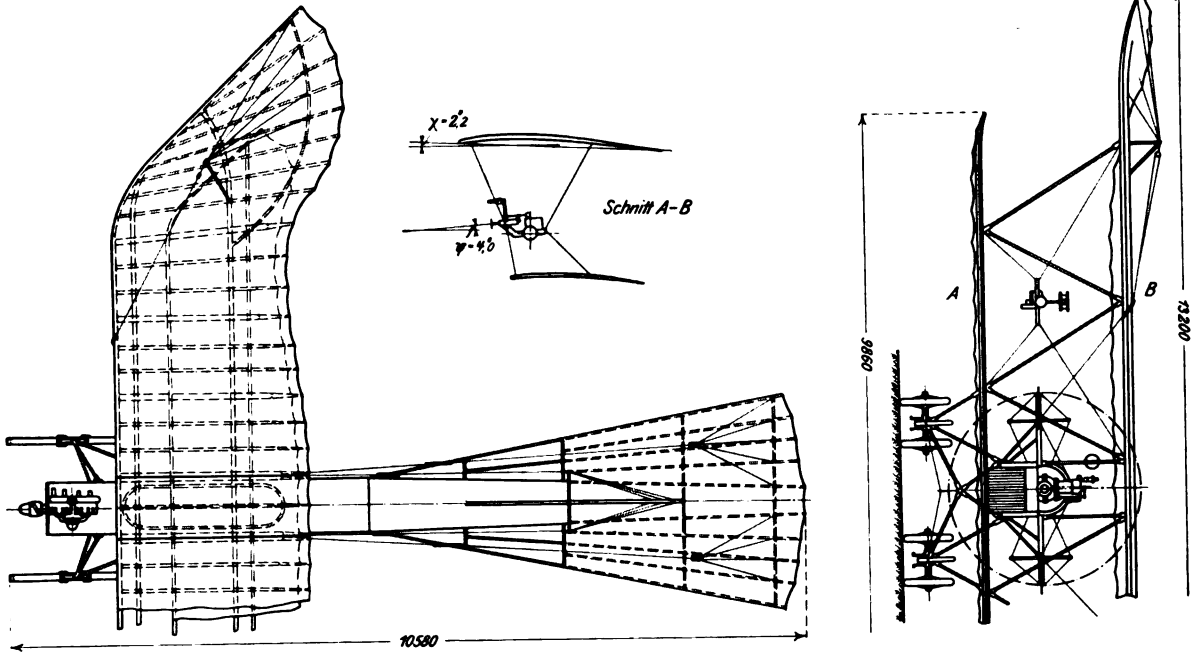
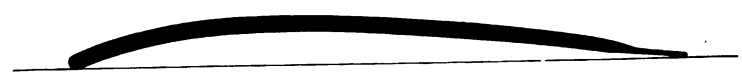


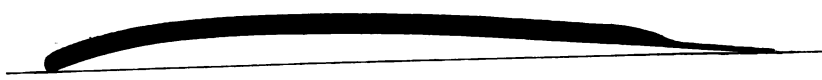
Abb. 18. Albatros-Doppeldecker,
Type MZ, 1912.
Maßstab 1 : 100.



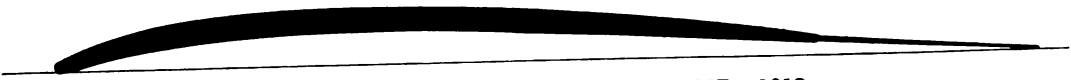
a) 50-PS-Mercedes, Type F₂, 1911.



b) 50-PS-Gnom-Spezialtyp, Type RZ₁.



c) 50-PS-Gnom, Type F₂, 1911.



d) 100-PS-Argus-Doppeltaube, Type MZ₁, 1912.

Abb. 19. Kurven der Haupttragrippen. Maßstab 1 : 20.

Konstruktionsangaben über die zu den Versuchen herangezogenen Flugzeuge¹⁾.

	50-PS- Mercedes	50-PS- Gnom-Spezialtyp	50-PS- Gnom	100-PS- Argus- Doppeltaube	
Fabrikationsbezeichnung	F ₂ , 1911 Kom.-Nr. 298	RZ ₁ Kom.-Nr. 182	F ₂ , 1911 Kom.-Nr. 381	MZ ₁ , 1912 Kom.-Nr. 40	
Bauart	Farmantyp, Schwanzzelle, Höhensteuer vorne, mit hinterem ver- bunden, Schraube hinten	Spezialtyp, Trag- flächen seitlich hochgezogen, Höhensteuer hinten, Schraube vorne	Farmantyp, Schwanzzelle, Höhensteuer vorne, mit hinterem ver- bunden, Schraube hinten	Tragfläche seit- lich hochgezogen und aufgewölbt, gestaffelt. Schraube vorne, Höhensteuer hinten	
Flächen	Oberes Tragdeck m ²	29,34	16,0	29,34	21
	Unteres Tragdeck m ²	21,54	14,0	21,54	16
	Beide Tragdecke zus. m ²	50,88	30,0	50,88	37
	Höhensteuer m ²	4,6	3,2	4,6	3,8
	Horizontale Dämpfungs- fläche m ²	2 × 4 = 8	3,0	2 × 4 = 8	3,3
Seitensteuer m ²	1,06	0,9	1,06	3,3 (mit vertikal. Dämpfungsf.)	
Motor, Herkunft	Mercedes	Gnom	Gnom	Argus	
Angenommene Leistung	45	40	—	100	
Luft- schraube (Fabrik- angabe)	Herkunft	Chauvière	Chauvière	Chauvière	Chauvière
	Durchmesser mm	2600	2600	2600	2700
	Steigung mm	1250	1320	1320	1450
Zug im Stand kg	—	170	170	250—260	
Leergewicht (ohne Führer und Betriebsstoff) kg	500	340	420	630	
Betriebsstoffe kg	75	45	75	100	

Versuchsübersicht.

Flugzeug	Datum	Barometer mm Q.-S.	Temperatur	Wind- stärke m/sec	Leergang a mm	Lfd. Nr.	Führer	Fluggast	Dauer des Fluges		Flughöhe m	Volles Gewicht kg	Ausgewertete Strecke m	Bemerkungen
									Minuten	Sekund.				
50-PS-Mercedes	8. März 1912	765	8°	4—5	27,1	1	Grünberg	—	7	25	20	—	—	Windfahne am vorderen Anschlag desgl. desgl. desgl.
						2	Grünberg	—	7	25	20	—	—	
						3	Coerper	—	7	58	20	—	—	
						4	Coerper	—	8	34	20	—	—	
	9. März 1912	766	2°	böig	21,4	5	Grünberg	—	5	22	20	—	—	Pendel setzt aus Windfahne setzt aus Pendel und Druckscheibe setzen aus desgl.
						6	Grünberg	—	7	28	20	—	—	
						7	Coerper	—	8	39	20	—	—	
						8	Grünberg	Weihor	—	—	20	—	—	
	21. März 1912	758	6°	mäßg	21,6	9	Grünberg	—	—	—	10	645	8400	Unsanfte Landung. Flug- zeug beschädigt
						10	Grünberg	—	—	—	10	—	—	

¹⁾ Bei den Flugzeugwerken ist es vielfach üblich, die einzelnen Flugzeuge nach dem auf ihnen eingebauten Motor zu bezeichnen und zu unterscheiden. Diesem Gebrauche wurde gefolgt, und infolgedessen ist ein Flugzeug durch seinen Motor bestimmt.

Flugzeug	Datum	Barometer mm Q.-S.	Temperatur	Windstärke m/sec	Leergang a mm	lfde. Nr.	Führer	Fluggast	Dauer des		Flughöhe in	Volles Gewicht kg	Ausgewertete Strecke m	Bemerkungen
									Minuten	Sekund.				
50-PS-Gnom-Spezialtyp	3. Mai 1912	763	5°	schwach	28,6	11 12	Thelen Thelen	— —	8 14 8 04	20 20	430 —	5400 —	Akkumulator Kurzschluß	
	6. Mai 1912	767	15°	desgl.	25,6	13 14	Thelen Thelen	— —	— —	15 15	— 430	— 2680	Pendel setzt aus	
	18. Mai 1912	758	12°	desgl.	23,1	15 16	Thelen Thelen	— —	2 54 2 57	10 10	— —	— —	Pendel setzt aus desgl.	
	20. Mai 1912	762	15°	3—4	28,5	17 18	Rupp Rupp	— unbek.	9 41 5 47	30 30	560 635	900 2700	Sehr böig	
	21. Mai 1912	760	15°	schwach	28,5	19 20	Weesler Weesler	— Noelle	5 37 5 55	30 30	— 645	— 4500	Windfahne nicht ausgeglichen	
	23. Mai 1912	751	15°	3—4	28,5	21 22	Rupp Rupp	— —	9 52 11 11	40 40	— —	3600 5400		
100-PS-Argus-Doppeltaube	5. Juni 1912	755	15°	schwach	45,1	23 24 25	Thelen Foerster Thelen	Foerster — —	6 26 5 53 6 18	40 40 50	810 735 735	4200 2640 6000		
	6. Juni 1912	760	10°	schwach	45,1	26	Thelen	—	6 18	50	800	6000		
						27	Thelen	—	6 37	50	—	—	Windfahne und Druckscheibe setzen aus	
						28	Thelen	—	6 52	50	800	3600		

IV. Versuchsergebnisse.

Die Versuchsergebnisse werden den Kurven des Papierstreifens entnommen. Obwohl sie der Größe nach noch nicht sofort festzustellen sind, so läßt sich doch aus dem Betrachten dieser Rohkurven einiges schließen.

Wie zu erwarten war, zeigen sämtliche Instrumente ein dauerndes Schwanken an. Die Geschwindigkeit des Flugzeugs ist einem beständigen Wechsel unterworfen. Diese fortwährenden Geschwindigkeitsänderungen haben eine Störung des Pendels zur Folge, das trotz starker Dämpfung selten zur Ruhelage kommt; doch sind die Schwankungen des Pendels nicht allein dieser Ursache zuzuschreiben, sondern auch Drehungen des Flugzeuges selbst, wie durch die Windfahne gezeigt wird.

Es läßt sich ein gutes Zusammenarbeiten der drei Instrumente feststellen, das zwar nicht immer deutlich bei Untersuchung von kurzen Strecken wegen der Trägheit und Schwingungen der Instrumente erkennbar ist, das aber bei Auswertung größerer Strecken gut bestätigt wird.

In einem Schaubild sind einige Stücke von Originalpapierbändern wiedergegeben. Sie zeigen jedesmal den Flugverlauf von 15 Sekunden, die aus einem längeren Versuchsfluge herausgewählt wurden.

Die Stücke stammen von verschiedenen Flugzeugen, und zwar die Nr. I—III von einem Versuche mit der 50-PS-Gnomschulmaschine (lfde. Nr. 18, 20. Mai 1912), Nr. IV—VI von einem solchen mit der 100-PS-Argus-Doppel-Taube (lfde. Nr. 25, 5. Juni 1912) und endlich Nr. VII von dem Versuche mit dem 50-PS-Mercedes (lfde. Nr. 10, 21. März 1912).

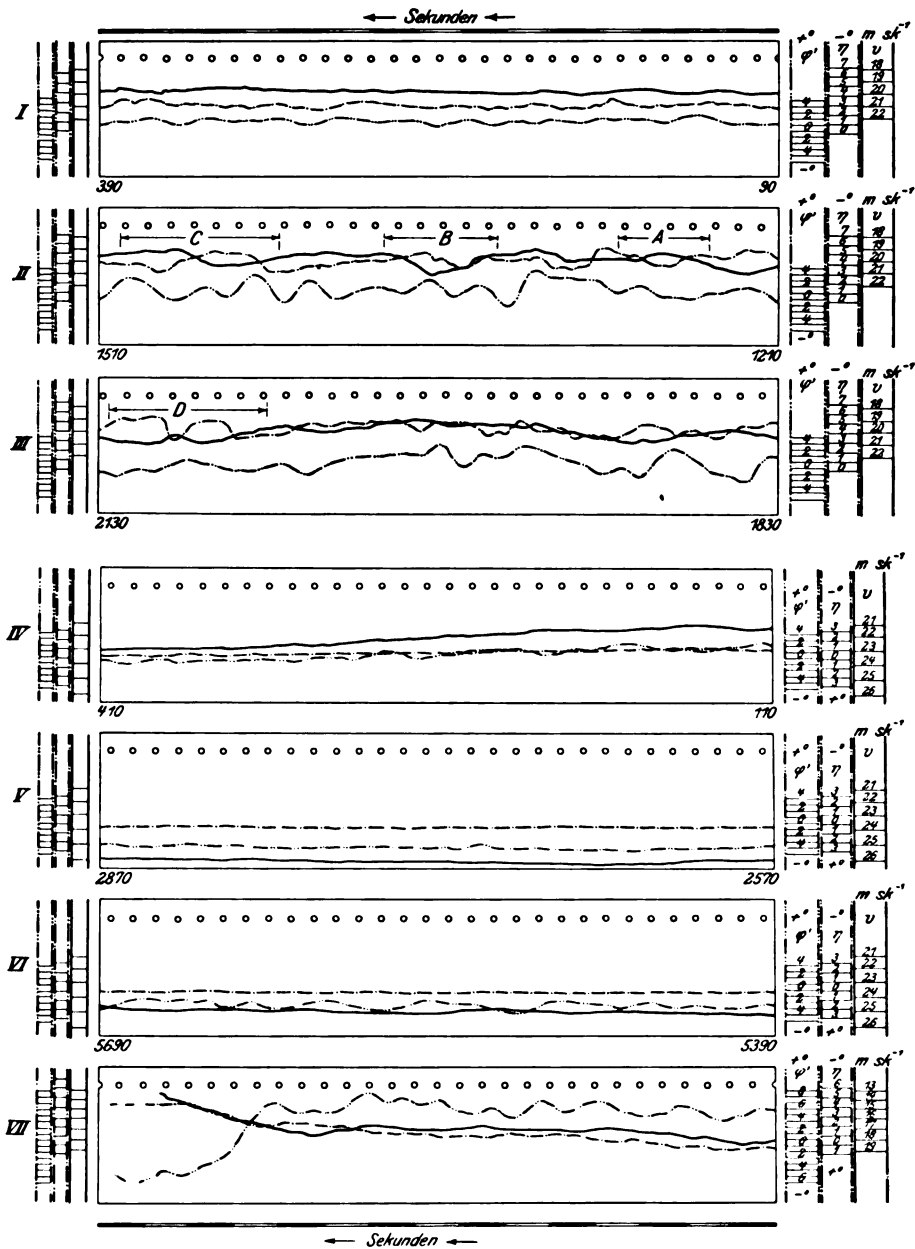


Abb. 20. Original-Kurven-Stücke. Maßstab 1 : 3.

— Druckscheibe, - - - - Windfahne, ····· Pendel.

I—III: 50-PS-Gnom (lfde. Nr. 18, 20. Mai 1912), IV—VI: 100-PS-Argus-Doppeltaube (lfde. Nr. 25, 5. Juni 1912).

VII: 50-PS-Mercedes (lfde. Nr. 10, 21. März 1912).

Nr. II und III zeigen besonders unruhige Kurvenstücke. Der Führer des Flugzeugs erzählte nachher, daß er in der Luft starke Böen zu parieren gehabt hätte.

Nr. I läßt jedoch erkennen, daß er nicht ständig mit derartigem Wind zu kämpfen hatte, da dieses Stück einen wesentlich ruhigeren Flug darstellt.

Alle drei Kurven verlaufen im gleichen Sinne. Einer Geschwindigkeitsverminderung entspricht ein Ansteigen der Geschwindigkeitskurve nach dem Lochrand zu; geringere Geschwindigkeit erfordert aber ein Steilerstellen des Flugzeugs. Dieses wird durch ein Ansteigen der Pendelkurve angedeutet. Bei horizontal gehendem Wind wird die Windfahne durch das Steilerstellen des Flugzeugs in der Weise beeinflusst, daß der Wind die Instrumentenachse von ihrer Unterseite trifft. Dies läßt die Windfahnenkurve ebenfalls nach dem Lochrande zu verschieben.

Allerdings wirkt nun die hierbei auftretende Verzögerung auf das Pendel in entgegengesetztem Sinne ein, indem sie seinen Nullpunkt nach dem glatten Rande des Papierbandes zu versetzt; doch läßt sich immerhin diese Wechselwirkung verfolgen, wenn man den mittleren Verlauf der Kurven betrachtet.

Da diese Geschwindigkeitsänderungen erfolgten, ohne daß gleichzeitig wesentliche Schwankungen in der Motorleistung in Erscheinung traten, so waren mit ihnen auch Änderungen der Höhenlage des Fluges verbunden.

An vielen Stellen sind die Windfahnen- und die Geschwindigkeitskurven in ihrem Verlauf auf kurze Strecken nicht gleichsinnig. Man sieht vielfach, daß sich zwei scharfe Wölbungen mit der offenen Seite oder mit der Kuppe einander gegenüberstehen. Diese Erscheinung findet ihre Erklärung in der Einwirkung des Windes.

Ein Flugzeug, welches bei stärkerem Winde fliegt, ist dem Einfluß von Böen ausgesetzt. Mit dem Sammelbegriff Bö bezeichnet man Unregelmäßigkeiten des Windes in seiner Stärke und Richtung.

Der Flugzeugführer, der während seines Fluges Böen begegnet, ist gezwungen, durch geeignete Steuerbewegungen ihre Einwirkung auf das Flugzeug aufzuheben, und das Flugzeug so in gleicher Geschwindigkeit und Flughöhe zu halten.

In den Rahmen der vorliegenden Betrachtung fallen nur Böen, die das Flugzeug in der Vertikalebene treffen. Es ist zu untersuchen, welchen Einfluß eine Bö auf die Druckscheiben- und Windfahnenkurven ausübt. Das Pendel wird durch die Stöße einer Bö zu sehr gestört, so daß seine Kurven zum Vergleich nicht herangezogen werden können.

Ein Flugzeugführer empfindet z. B., daß der Wind, der sein Gesicht trifft, plötzlich nachläßt, er stellt sofort das Höhensteuer auf Flug nach abwärts, um wieder auf Geschwindigkeit zu kommen. In einem anderen Falle wird er durch eine Bö plötzlich nach unten geworfen, er stellt dann sein Flugzeug mehr aufrecht, um die gleiche Höhe einzuhalten.

Im ersten Falle bewegt sich die Geschwindigkeitskurve dem Lochrande zu, während die Windfahnenkurve entgegengesetzt verläuft. Im zweiten Falle sinkt die Windfahnenkurve dem glatten Papierrand zu, die Druckscheibenkurve steigt an. Das früher gezeigte gleichsinnige Verhalten der Kurven bei ruhigem Flug trifft nicht mehr zu, die Kurven bewegen sich gegeneinander gekehrt.

In den Stücken Nr. II und III sind mehrere solcher Böen zu finden. Einzelne sind durch die Strecken A, B, C und D gekennzeichnet.

Die Angaben der Windfahnen- und Druckscheibenkurven sind auf ein besonderes Schaubild übertragen worden. Der Beschleunigungsverlauf während einer

Bö wurde ermittelt. Man erkennt die kräftigen horizontalen Stöße, denen ein Flugzeug im Fluge ausgesetzt ist.

Der Versuch mit der Doppel-Taube (Nr. IV—VI) fand bei wesentlich ruhigerem Wetter statt. Die Kurven zeigen eine schöne Stetigkeit¹⁾.

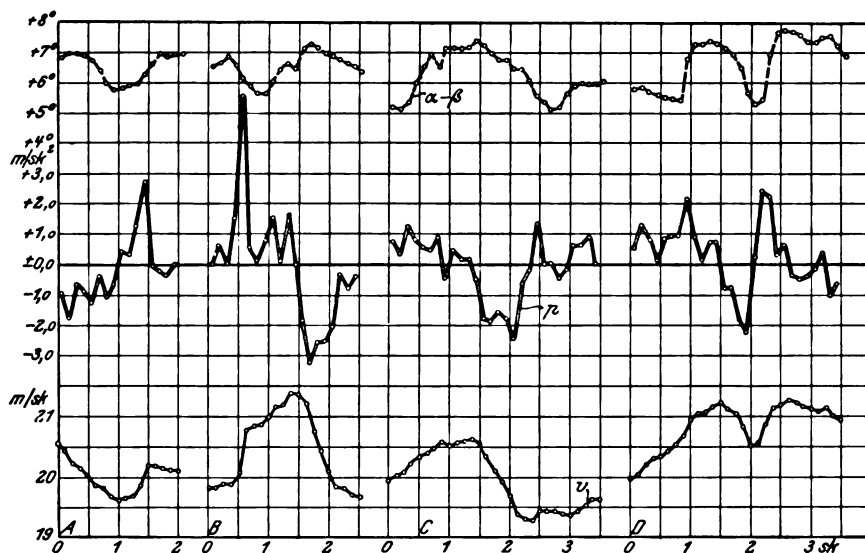


Abb. 21. 50-PS-Gnom (lfde. Nr. 18, 20. Mai 1912).

Das Stück Nr. VII zeigt die zufällige Aufzeichnung eines Sturzes des 50-PS-Mercedes infolge Abrutschens in einer Kurve. Der Motor war für die Flugzeuggröße etwas zu schwach und hatte wenig Kraftüberschuß. Er war bei dem Versuch nicht recht in Ordnung und ließ unterwegs an Leistung nach. Die Kurven zeigen die letzten 15 Sekunden des Fluges. Man sieht deutlich, wie die Geschwindigkeit immer mehr und mehr abnimmt, wie auch gleichzeitig die Anstellwinkel wachsen. In den letzten Augenblicken ist die Verzögerung des Flugzeuges so stark, daß der Schreibstift des Pendels an den hinteren Anschlag geschleudert wird. Diese Verzögerung wurde hervorgerufen durch ein starkes Steilerstellen der Flächen, wie aus der Windfahnenkurve ersichtlich wird. Es ist interessant, in diesem Falle die Drehgeschwindigkeit des Flugzeuges um die Querachse festzustellen. Es drehte sich um $2\frac{1}{2}^\circ$ in 1,67 Sekunde. Dies kommt einer Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = \frac{2,5 \cdot 0,0175}{1,67} = 0,026$$

gleich. Die Verzögerung während dieser Zeit war

$$\frac{17,55 - 13,40}{2,9} = 1,41 \text{ msec}^{-2}.$$

Schließlich kam das Flugzeug zu Boden, das Instrument blieb stehen.

¹⁾ Es ist diese bei der Windfahnenkurve teilweise wohl auch darauf zurückzuführen, daß die Dämpfung der Windfahne wegen der höheren Lufttemperatur verstärkt worden war.

Wenn man das Verhalten der Kurven auf eine kurze Strecke beobachtet, so läßt sich aus der Unruhe der Kurven kein klares Bild gewinnen. Um den Flug des Flugzeugs beurteilen zu können, ist es notwendig, daß man längere Versuchsstrecken in Betrachtung zieht.

Es wurden alle durchgerechneten Kurven nach folgendem System ausgewertet.

Die einige Meter langen Streifen wurden in Abschnitte von 300 mm entsprechend rund 15 sec Versuchsdauer unterteilt. Aus jedem dieser Teile wurde nun ein Mittelwert für die Aufzeichnung der drei Kurven gewonnen, indem das Mittel aus je 15 Einzelmessungen gerechnet wurde. Bei der Pendelkurve wurden sogar (mit Ausnahme der Versuche mit der Doppel-Taube, wo dieses wegen ihres ruhigen Fluges nicht nötig war) 30 Einzelmessungen für den Mittelwert berücksichtigt. Die starken Schwankungen des Pendels machten dies erforderlich. Es wurden also aus je einem solchen Stück zusammengehörige Werte von den Angaben der Druckscheibe, des Pendels und der Windfahne ermittelt. Ferner wurde noch die Anfangs- und Endgeschwindigkeit eines Abschnittes festgestellt und aus diesen beiden die Geschwindigkeitsänderung errechnet, die während des Abschnittes gleichmäßig herrschend gedacht, zur Pendelkorrektur herangezogen wurde.

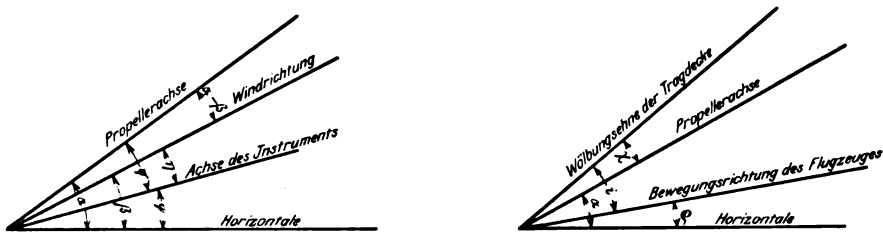


Abb. 22. Winkelbezeichnung.

- | | |
|--|--|
| ψ = const = Einstellwinkel der Achse des Instrumentes zum Flugzeug. | α = Winkel zwischen Horizontale und Propellerachse. |
| χ = const = Winkel zwischen Wölbungssehne der Tragdecke und Propellerachse. | β = Winkel zwischen Horizontalen und Windrichtung. |
| φ = gemessener Winkel durch Pendel. | ρ = Anstiegswinkel des Flugzeuges. |
| η = gemessener Winkel durch Windfahne. | i = Anstellwinkel der Tragdecke. |

Entsprechend den zu erwartenden Geschwindigkeiten wurde der Leerlauf a der Druckscheibenfeder vor jedem Versuche eingestellt. Infolge der bei Vorversuchen festgestellten Ablenkungen des Luftstromes durch die Tragflächen wurde es notwendig, der Instrumentenachse eine bestimmte Abwärtsneigung zur Propellerachse zu geben, so daß im normalen Fluge die Druckscheibe senkrecht von der Luft getroffen wurde. Es wurde als Vergleichsachse zum Flugzeug die Achse des Propellers und des Motors gewählt. Dies erwies sich als zweckmäßig, da diese Achse schneller und zuverlässiger festzustellen ist als die Wölbungssehne der Tragdecke. Diese Sehne ist zur Propellerachse um den Winkel χ aufgekippt, der teils durch Messung, teils aus Konstruktionszeichnungen ermittelt wurde. Man kann daher aus den für die Propellerachse angegebenen Werten leicht die für die Wölbungssehne gültigen Werte erhalten.

Die ursprünglichen Werte des Pendels φ' wurden durch den Beschleunigungswinkel ν auf φ korrigiert. Und zwar nach der Beziehung:

$$\varphi = \varphi' - \nu.$$

Es werden dabei die Winkel φ positiv gerechnet, wenn das Pendel eine Aufwärtsneigung angibt, der Korrektionswinkel ν wird bei Beschleunigung positiv, bei Verzögerung negativ gewertet. Eine Beschleunigung zeigt eine scheinbare Aufkippung an. Infolgedessen vergrößert er die Angaben φ' des Pendels. Um die tatsächliche Aufwärtsneigung zu finden, ist daher ν stets von φ' abzuziehen.

Mit der Windfahne wird der Winkel η bestimmt. Die Ausschläge werden positiv gerechnet, wenn der Wind die Windfahne im Vergleich zu ihrer Mittellage von oben her trifft.

Die Angaben von Pendel und Windfahne, dargestellt durch die Winkel φ und η , wurden mit der Vergleichsachse in Verbindung gebracht.

Der Winkel α wird gebildet von der Propellerachse und der Horizontalen. Er ist gegeben durch die Beziehung

$$\alpha = \varphi + \psi.$$

Der Winkel β gebe den Winkel zwischen Windrichtung und Horizontalen an. Er errechnet sich aus der algebraischen Summe von φ und η . Also

$$\beta = \varphi + \eta.$$

Aus diesen beiden Winkeln wird die Größe

$$(\alpha - \beta) = (\varphi + \psi) - (\varphi + \eta) = \psi - \eta$$

gefunden, die den Winkel zwischen Propellerachse und Windrichtung einschließt.

Aus den verschiedenen Versuchskurven wurden die Größen von ν (m/sec), p (m/sec²) und die Winkel α , β und $(\alpha - \beta)$ mit Hilfe von ν , φ' und η in Mittelwerten aus 15 sec errechnet. Ihre Größen sind in Tabellen wiedergegeben. Es wurde Rechenschiebergenauigkeit dabei zugrunde gelegt, obwohl diese für die absoluten Ergebnisse der Versuche zu weitgehend war. Sie war jedoch erforderlich, um Vergleiche innerhalb eines Versuches selbst zu ermöglichen.

Diese so errechneten Werte sind zunächst in Funktion der Versuchszeit in Schaubildern aufgetragen. Man findet durchweg für alle Versuchsergebnisse das wiederkehrende Bild sehr starker Unregelmäßigkeiten der wiedergegebenen Kurven¹⁾.

Dieses hat seine Erklärung in der Unmöglichkeit, eine bestimmte Höhenlage im Fluge ohne besondere Hilfsinstrumente einzuhalten. Die Flugzeuge steigen und fallen und verändern damit dauernd Geschwindigkeit und Flugwinkel. Man kann aus dem Vergleich von ν und α diesen Zusammenhang erkennen. Man sieht, daß bei den Kurven von ν und α Spitze gegen Spitze und Wölbung gegen Wölbung liegt, ein Ergebnis, das diese Erklärung fordert²⁾.

¹⁾ Die in Tabellen und Schaubildern wiedergegebenen Versuchsergebnisse sind gegen Ende dieses Abschnittes zusammengestellt.

²⁾ Es ist dabei zu beachten, daß die Darstellung in den Schaubildern von derjenigen in den Originalkurven abweicht; während dort wachsende Geschwindigkeit die Kurve sinken ließ, wird sie hier durch ein Ansteigen gekennzeichnet.

Die $(\alpha - \beta)$ -Kurve folgt in großen Zügen den Schwankungen der α -Kurve, wie es bei ruhiger Luft auch sein muß, da in diesem Falle Pendel und Windfahne in ihren Angaben qualitativ übereinstimmen. Der bei vielen Versuchen herrschende Wind beeinflusste aber die $(\alpha - \beta)$ -Kurve. Wie schon bei der Beurteilung der Originalkurven Nr. II und III gesagt wurde, tritt ein umgekehrtes Verhalten ein, wenn Böen das Flugzeug von oben oder unten treffen. Dort, wo also die $(\alpha - \beta)$ -Kurve der v -Kurve gleichartig folgt, ist der Einfluß einer Bö zu vermuten. Sehr deutlich treten diese Verhältnisse nicht auf, da die Bewegungen des Flugzeugs zu unregelmäßig sind, und ihre Ursachen ineinander übergehen.

Um zu sehen, ob den ständigen Bewegungen auf- und abwärts irgendeine Regelmäßigkeit zugrunde liege, wurde für zwei Flugzeuge der Verlauf des Fluges von Sekunde zu Sekunde auf einen Zeitraum von etwas über 2 Minuten festgelegt. Es wurde dabei so vorgegangen, daß der Mittelwert eines Kurvenstückes von 20 mm, das ist 1 sec, bestimmt und nach Umrechnung in ein Schaubild (Abb. 26 und 30) eingetragen wurde. Es lag bei dieser Darstellung die Schwierigkeit vor, den Winkel α genau angeben zu können, da auf so kurze Strecken das Pendel sehr starker Korrekturen infolge Geschwindigkeitsänderungen bedarf, deren Größe doch nur mit Unsicherheit festgestellt werden konnte. Auch machte sich die Schwingungsdauer des Pendels bei diesen sekundlichen Messungen noch bemerkbar, so daß an manchen Stellen die Kurve in eine Zickzacklinie überging. Es sind jedoch dort, wo α eine Schwingung von mehreren Sekunden wiedergibt, nicht mehr die Eigenschwingungen des Pendels von Einfluß, sondern, wie denn auch vielfach durch die $(\alpha - \beta)$ -Kurve bestätigt wird, zeigt sich dann ein Drehen des Flugzeuges um seine Querachse. Das jedem Flieger bekannte 3—6 Sekunden dauernde sanfte Drehen des Flugzeuges, hervorgerufen durch die Steuerbetätigung des Höhensteuers, kommt hier zum Vorschein. Es mag aber auch sein, daß in einzelnen Fällen die von Herrn Professor Dr. Runge¹⁾, Göttingen, errechneten Pendelschwingungen eines Flugzeuges sich geltend machen. Es stimmen diese in ihrer Größenanordnung mit den gefundenen Schwingungen einigermaßen überein. Da die Bewegungen des Höhensteuers nicht beobachtet worden sind, ist es nicht mehr möglich, zu sagen, wann das Höhensteuer stille gehalten worden ist, und wann also solche Pendelschwingungen des Flugzeugs in Erscheinung getreten sind.

Auf eine Regelmäßigkeit in der Auf- und Abwärtsbewegung des Flugzeuges kann auch durch diese auseinandergezogene Darstellung der Versuchskurven nicht geschlossen werden.

Die Doppel-Taube bedurfte geringerer Höhensteuerbetätigung als der 50-PS-Gnom-Spezialtyp. Dies zeigt sich auch in der größeren Ruhe der Kurven bei den Versuchen mit diesem Flugzeug.

In den in Sekundeneinteilung gezeichneten Kurven wird ebenfalls das Gegeninaneinanderarbeiten von Geschwindigkeit und Anstellwinkeln wiedergegeben. Allerdings ist es erforderlich, daß man dann durch die Zacken der α -Kurve sich eine mittlere Kurve gelegt denkt.

¹⁾ Verhandlungen der Versammlung von Vertretern der Flugwissenschaft am 3. bis 5. November 1911 zu Göttingen, S. 25.

In allen Schaubildern ist noch der Winkel β dargestellt worden. Er ist im allgemeinen negativ, d. h. der Luftstrom wird an der Meßstelle als von unten kommend gemessen. Dieses findet seine Begründung in der Ablenkung des Luftstromes durch die Tragflächen.

Daß durch schräg gestellte Flächen der Luftstrom derart beeinflußt wird, daß er, bevor er die Fläche trifft, seine Richtung der Wölbung der Fläche schon angepaßt hat, ist an Modellen mehrfach durch Rauchversuche, auch von Professor Dr. Kutta theoretisch, nachgewiesen worden.

Außer in Funktion der Versuchszeit wurden die gewonnenen Winkelwerte noch in Funktion der zugehörigen Geschwindigkeit zur Darstellung gebracht. Es zeigt sich, daß der Winkel β für kleine Geschwindigkeiten bei einigen Flugzeugen positiv werden kann. Dies hat seinen Grund darin, daß, da ja bei den kleinen Geschwindigkeiten das Flugzeug steigt, ein Luftstrom von oben kommend sich bemerkbar machen muß. Dieser kann nun den durch die Tragflächen abgelenkten Strom von unten aufheben und überwiegen.

Man sieht, daß im Mittel die Ablenkung durch die Tragflächen an den Meßstellen für die einzelnen Flugzeuge etwa $-1\frac{1}{2}^\circ$ bis $-2\frac{1}{2}^\circ$ betragen hat. Es ist möglich, daß diese Winkel tatsächlich nicht so groß sind, da, wie früher gesagt, bei der Eichung der Windfahne ein Fehler von etwa $-2\frac{1}{3}^\circ$, der nicht mit Sicherheit festgestellt werden konnte, auftrat. Müßte die Windfahne um diesen Wert korrigiert werden, dann wären die Ablenkungswinkel durch die Tragflächen nur etwa $-5\frac{1}{6}^\circ$ bis $-1\frac{5}{6}^\circ$.

Die Versuchsergebnisse des 50-PS-Gnom-Spezialtyp müssen besonders behandelt werden. Sein Motor ließ nämlich während der Versuche dauernd nach. Die Schrägstellung der Flächen war daher weniger durch eine Aufwärtssteuerung bedingt, sondern mehr noch durch das Nachlassen des Propellerzuges und der damit sinkenden Geschwindigkeit. Die Wiedergabe der Geschwindigkeit und der Anstellwinkel in Funktion der Versuchszeit läßt das stete Sinken der Geschwindigkeit erkennen. Der Winkel β in Funktion der Geschwindigkeit bleibt im Gegensatz zu den bei anderen Flugzeugen gewonnenen β -Kurven beinahe konstant. Er zeigt bei sinkender Geschwindigkeit nur ein schwaches Ansteigen. Es wird damit die Tatsache der Leistungsverminderung des Motors und der damit geschaffenen besonderen Verhältnisse bestätigt.

Mit dem vorhandenen Versuchsmaterial wurde versucht, die für jede Tragfläche charakteristischen Auftriebs- und Widerstandskoeffizienten ζ_A und ζ_W festzustellen¹⁾.

Zu diesem Zwecke wurde folgendermaßen vorgegangen.

Die Werte α , β und $(\alpha - \beta)$ wurden in Funktion der Geschwindigkeit aufgetragen. Bei einigen Flugzeugen ergab sich eine starke Streuung der Werte. Wo es mit einiger Sicherheit möglich war, eine Kurve durch diese Einzelwerte zu legen, geschah dies. Mit diesen so gewonnenen Kurven wurde nun weiter gearbeitet.

¹⁾ Die dimensionslose Einführung der Erfahrungskoeffizienten der Luftkräfte wurde von Prof. Dr. Prandtl in der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 1910 vorgeschlagen und hat seitdem in dieser Form große Verbreitung gefunden.

Es gelten bei Flügen mit der Steigung ρ bergan folgende Beziehungen: Es ist der notwendige Auftrieb

$$A = G \cdot \cos \rho$$

bzw.

$$A = \zeta_A \frac{\gamma}{g} \cdot v^2 \cdot F.$$

Hieraus

$$\zeta_A = \frac{\gamma \cdot G}{g \cdot F \cdot v^2} \cdot \cos \rho.$$

Da die Ansteigewinkel stets gering waren, kann ohne Fehler gesetzt werden

$$\cos \rho = 1.$$

Unter Zuhilfenahme der mit von dem Technischen Bureau der Albatros-Werke für die Flugzeuge angegebenen Gewichte und schätzungsweise Berücksichtigung des mitgeführten Betriebsstoffes und Personengewichtes wurde das Flugzeuggewicht festgestellt. Infolge der Umständlichkeit einer Flugzeugwägung und den immerhin beengten Versuchsbedingungen war es nicht gut möglich, die Gewichte der Flugzeuge genauer festzulegen. Sicher sind hierdurch Fehler von mehreren Kilogramm eingelaufen, die aber das tatsächliche Gewicht nicht weit überstiegen haben werden.

Für diese so gefundenen Gewichte wurden nun die Koeffizienten ζ_A bestimmt, welche den von dem Flugzeuge erreichten Geschwindigkeiten entsprechen mußten.

Der Anstellwinkel i der Fläche wurde durch folgende Überlegung gewonnen:

Durch den Winkel α ist für eine bestimmte Geschwindigkeit ein Maß für die Aufkippung der Fläche gegeben. Der Winkel β , welcher der gleichen Geschwindigkeit zugehört, gibt die Ablenkung des Luftstromes an, die hervorgerufen wird durch die Fläche selbst und die nicht immer wagerechte Fahrt des Flugzeugs. Nimmt man an, daß die Ablenkung durch die Tragflächen sich nicht wesentlich bei den verschiedenen Geschwindigkeiten und Anstellwinkeln ändert, so daß sie in allen Fällen der mittleren Ablenkung β_m gleichgesetzt werden kann, dann ist der Ansteigewinkel ρ gegeben durch

$$\rho = \beta - \beta_m.$$

Der Anstellwinkel i wird demnach

$$i = \alpha + \chi - \rho = \alpha + \chi - \beta + \beta_m = (\alpha - \beta) + (\chi + \beta_m).$$

Die auf diese Art gewonnenen Werte für i wurden mit den zugehörigen ζ_A in ein Schaubild eingetragen. Zum Vergleich wurden an Modellen gefundene Kurven von Föppl und Eiffel herangezogen.

Luftwiderstandskoeffizienten aus den Laboratorien von Göttingen¹⁾ und Eiffel²⁾ zum Vergleich mit den am fliegenden Flugzeug gewonnenen Koeffizienten ζ_A und ζ_w .

Föppl.	Gewölbte Platte: 20,25 × 80 cm; Pfeil $f = 0,33$ cm; Stärke $d = 0,4$ cm.	1/61,3
i	= + 3,3	+ 6,4
		+ 9,4
ζ_A	= + 0,188	+ 0,290
		+ 0,389

¹⁾ Föppl, Windkräfte an ebenen und gewölbten Platten.

²⁾ Eiffel, La résistance de l'air.

Föppl.	Gewölbte Platte: 20,0 × 80,0 cm; f = 0,81 cm; d = 0,4 cm.	1/24,7		
	i = + 2,5	+ 6,4	+ 10,3	
	ζ _A = + 0,203	+ 0,345	+ 0,471	
	ζ _W = + 0,0180	+ 0,0325	+ 0,0622	
Föppl.	Gewölbte Platte: 20,0 × 80,0 cm; f = 1,00 cm; d = 0,4 cm.	1/20,0		
	i = + 1,5	+ 3,6	+ 5,6	+ 8,6
	ζ _A = + 0,201	+ 0,293	+ 0,359	+ 0,453
Föppl.	Gewölbte Platte: 20,0 × 80,0 cm; f = 1,42 cm; d = 0,4 cm.	1/14,1		
	i = + 1,2	+ 3,7	+ 6,2	+ 8,6
	ζ _A = + 0,223	+ 0,340	+ 0,463	+ 0,538
	ζ _W = + 0,0314	+ 0,0379	+ 0,0478	+ 0,0629
Eiffel.	Flügel Nr. 11; Voisinflügel nachgebildet; 15,0 × 90,0 cm.	1/24,2		
	i = + 2,0	+ 6,0	+ 10,0	
	K _y = + 0,0210	+ 0,0408	+ 0,0545	
	ζ _A = + 0,1680	+ 0,3264	+ 0,4360	

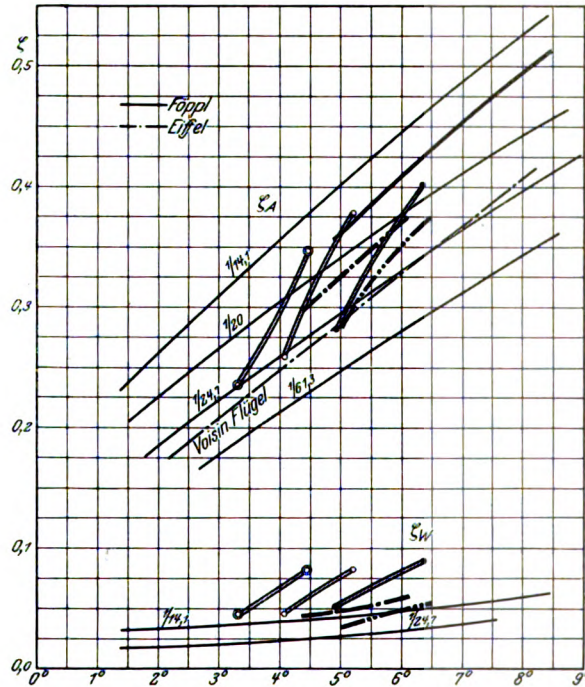


Abb. 23. Auftriebs- und Widerstands-Koeffizienten.

- | | | | |
|-----------|--|-----|---|
| — | Lfde. Nr. 11, 14, 3., 6. Mai 1912.
50-PS-Gnom-Spezialtyp. | ●—● | Lfde. Nr. 23, 5. Juni 1912. |
| - - - - | Lfde. Nr. 9, 21. März 1912.
50-PS-Mercedes. | ⊙—⊙ | Lfde. Nr. 24, 25, 5. Juni 1912. |
| - · - · - | Lfde. Nr. 20, 21. Mai 1912.
50-PS-Gnom. | ○—○ | Lfde. Nr. 26, 28, 6. Juni 1912
100-PS-Argus-Doppeltaube. |

Man sieht, daß sich die ζ_A-Werte gut den Laboratoriumskurven einfügen. Nach den Angaben von Eiffel¹⁾ sind bei Vergleichen zwischen Ergebnissen an Flugzeugmodellen und ausgeführten Flugzeugen die Modellversuchswerte um 10 % zu vergrößern, um den Verhältnissen in großem Maßstab und bei großen Ge-

¹⁾ La résistance de l'air.

schwindigkeiten zu entsprechen. Bei Doppeldeckern, deren Tragdecke um ihre Flächentiefe entfernt sind, sind von dem Flächeninhalte der Tragdecke etwa 23 % in Abzug zu bringen. Das würde eine Verringerung des Koeffizienten um 13 % bedeuten.

Nun tragen bei den untersuchten Doppeldeckern die Haupttragdecke nicht allein. Die Schwanzzelle trägt bei den nach dem Farmantyp gebauten Flugzeugen mit. Ihre Flächen sind etwa um die Hälfte des Anstellwinkels der Haupttragdecke geneigt, und ihr Flächeninhalt beträgt 20 % desjenigen der Haupttragflächen. Man kann danach annehmen, daß etwa 8 % des Gewichtes von der Schwanzzelle getragen werden.

Es bliebe demnach eine Korrektur von vielleicht — 5 % übrig, mit welcher man nach Eiffel von den auf dem Flugzeug gewonnenen Koeffizienten auf die mit einzelnen Modellflächen im Laboratorium gemessenen Koeffizienten kommen müßte.

Bei dem 50-PS-Gnom-Spezialtyp und der Doppel-Taube tragen die Schwanzflächen, und bei letzterer auch etwas der Rumpf mit. Da bei diesen beiden Typen die Unterstützung der Tragfähigkeit durch den Schwanz weniger gut abgeschätzt werden konnte, so wurden die Koeffizienten ζ_A , gültig für das Flugzeug im ganzen, in allen Fällen nur auf den Flächeninhalt der Haupttragdecke bezogen.

Die ζ_w -Werte wurden ebenfalls bestimmt, und zwar, da sich der Widerstand der Tragflächen von dem gesamten Widerstand nicht trennen ließ, für diesen gesamten Widerstand des Flugzeuges, bestehend aus Tragflächen und schädlichem Widerstand. Nimmt man an, daß die Leistung des Motors im Fluge sich nicht wesentlich ändert, so kann aus der Beziehung

$$\eta \cdot L = \frac{\gamma}{g} \cdot \zeta_w \cdot F \cdot v^3$$

ζ_w für die Leistung L bestimmt werden, wobei η den Wirkungsgrad des Propellers bedeutet. Die Schwierigkeit, ohne besondere Messung die Motorleistung anzugeben, liegt zutage. Bei der Doppeltaube wurde ein 100-PS-Argus verwandt, der erst kurz in Betrieb war, der also wohl seine Nennleistung am ehesten erreicht haben wird; bei den anderen Motoren wurde die Leistung geschätzt nach dem Alter und Betriebszustand des Motors. Beim 50-PS-Gnom-Spezialtyp konnte keine Leistung angesetzt werden, da diese ständig nachgelassen hatte.

Die ζ_A - und ζ_w -Kurven der 100-PS-Argus-Doppeltaube, die von drei Versuchsreihengruppen gewonnen wurden, zeigen untereinander geringe Übereinstimmung. Sie verlaufen ja in gleichem Sinne, erscheinen aber parallel nebeneinander gesetzt. Dies deutet auf einen Einstellungsfehler der Windfahne hin. Tatsächlich zeigte sich auch, als nach seinem Ausbau aus dem Flugzeug der Apparat nachgesehen wurde, daß die Befestigung des Windfahnenträgers sich gelockert hatte. Die damit verknüpfte Verschiebung des Drehpunktes der Windfahne erklärt die Versetzung der einzelnen Kurven gegeneinander.

Aus den Versuchsbildern ergibt sich, daß die seitlich gehobenen Tragflächen sowie mit Schwanzsteuer allein versehenen Flugzeuge geringere Streuung der Meßwerte hatten. Es ist dies wohl ein Beweis für die ruhige Lage dieser Flugzeuge in der Luft, die ja auch von den Flugzeugführern selbst gerühmt wurde.

(Fortsetzung des Textes auf Seite 55.)

Tabelle 1.

50-PS-Mercedes. Lfde. Nr. 9. 21. März 1912. $\psi = 1,67^\circ$, $\chi = 2,70^\circ$.

Weg des Papier- bandes mm	Endge- schw. eines Abschn. m/sec	P	v	ν^0	φ^0	φ^0	η^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
		m/sec ²	m/sec								
300	16,21										
600	17,60	+ 0,093	16,78	+ 0,54	+ 2,61	+ 2,07	- 3,65	+ 3,74	- 1,58	+ 5,32	2
900	17,30	- 0,020	17,65	- 0,12	+ 2,19	+ 2,31	- 3,32	+ 3,98	- 1,01	+ 4,99	13
1200	17,20	- 0,007	17,33	- 0,04	+ 2,05	+ 2,09	- 2,54	+ 3,76	- 0,45	+ 4,21	9
1500	16,99	- 0,014	17,05	- 0,08	+ 1,12	+ 1,20	- 3,06	+ 2,87	- 1,86	+ 4,73	5
1800	17,30	+ 0,026	17,19	+ 0,15	+ 0,96	+ 0,81	- 3,07	+ 2,48	- 2,26	+ 4,74	6
2100	18,00	+ 0,047	17,49	+ 0,27	+ 0,92	+ 0,65	- 3,13	+ 2,32	- 2,48	+ 4,80	11
2400	17,90	- 0,007	18,25	- 0,04	+ 0,33	+ 0,37	- 1,73	+ 2,04	- 1,36	+ 3,40	24
2700	17,80	- 0,007	17,99	- 0,04	- 0,23	- 0,19	- 2,92	+ 1,48	- 3,11	+ 4,59	22
3000	18,00	- 0,033	17,78	- 0,19	- 0,42	- 0,23	- 2,34	+ 1,44	- 2,57	+ 4,01	19
3300	17,30	+ 0,047	17,29	+ 0,27	- 0,04	- 0,31	- 2,65	+ 1,36	- 2,96	+ 4,32	8
3600	18,00	- 0,034	17,91	- 0,20	+ 0,17	+ 0,37	- 2,53	+ 2,04	- 2,16	+ 4,20	20
3900	17,49	+ 0,007	18,05	+ 0,04	+ 1,16	+ 1,12	- 0,40	+ 1,79	+ 0,72	+ 2,07	23
4200	17,60	- 0,055	17,23	- 0,32	+ 3,06	+ 3,38	- 1,22	+ 5,05	+ 2,16	+ 2,89	7
4500	16,78	+ 0,055	17,00	+ 0,32	+ 3,26	+ 2,94	- 3,07	+ 4,61	- 0,13	+ 4,74	3
4800	17,60	- 0,013	17,43	- 0,08	+ 0,07	+ 0,15	- 2,71	+ 1,82	- 2,56	+ 4,38	10
5100	17,40	- 0,013	17,75	- 0,08	+ 0,08	+ 0,16	- 2,36	+ 1,83	- 2,20	+ 4,03	16
5400	18,20	+ 0,087	17,92	+ 0,39	- 0,26	- 0,65	- 2,93	+ 1,02	- 3,58	+ 4,60	21
5700	18,80	+ 0,040	18,83	+ 0,23	- 0,75	- 0,98	- 2,78	+ 0,69	- 3,76	+ 4,45	28
6000	18,30	- 0,033	18,35	- 0,19	- 0,24	- 0,05	- 2,42	+ 1,62	- 2,47	+ 4,09	26
6300	18,10	- 0,013	17,77	- 0,08	- 0,35	- 0,27	- 2,43	+ 1,40	- 2,70	+ 4,10	18
6600	18,40	+ 0,020	18,60	+ 0,12	- 2,10	- 2,22	- 2,31	- 0,55	- 4,53	+ 3,98	27
6900	17,40	- 0,067	17,54	- 0,39	+ 0,34	+ 0,73	- 2,19	+ 2,40	- 1,46	+ 3,86	12
7200	18,10	+ 0,047	17,75	+ 0,27	+ 0,11	- 0,16	- 2,31	+ 1,51	- 2,47	+ 3,97	17
7500	17,50	- 0,040	17,70	- 0,23	+ 2,35	+ 2,58	- 1,07	+ 4,25	+ 1,51	+ 2,74	14
7800	16,21	- 0,086	17,00	- 0,50	+ 2,36	+ 2,86	- 2,33	+ 4,53	+ 0,53	+ 4,00	4
8100	17,10	+ 0,059	16,77	+ 0,35	+ 1,46	+ 1,11	- 2,24	+ 2,78	- 1,13	+ 3,92	1
8400	18,00	+ 0,060	17,73	+ 0,35	+ 0,24	- 0,11	- 2,48	+ 1,56	- 2,59	+ 4,15	15
8400	18,10	+ 0,007	18,34	+ 0,04	- 0,38	- 0,42	+ 1,92	+ 1,25	- 2,34	+ 3,59	25
Mittelwerte			17,66	-	-	-	-	+ 2,32	- 1,74	+ 4,10	

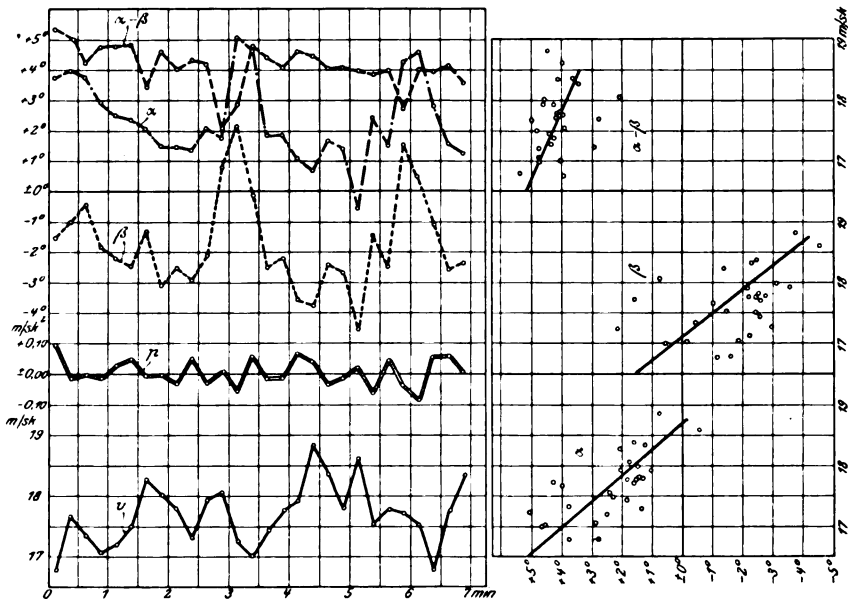


Abb. 24. 50-PS-Mercedes (lfde. Nr. 9, 21. März 1912).

Tabelle 2.

50-PS-Gnom-Spezialtyp. Lfde. Nr. 11. 3. Mai 1912. $\psi = 2,50^\circ$, $\chi = 0,5^\circ$.

Weg des Papierbandes mm	Endgeschw. eines Abschn. m/sec	p m/sec ²	v m/sec	ν^0	φ^0	φ^v	η^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
300	18,05	± 0,000	17,92	± 0,00	+ 1,95	+ 1,95	- 2,37	+ 4,45	- 0,42	+ 4,87	18
600	18,05	- 0,070	17,66	- 0,41	+ 1,64	+ 2,05	- 2,31	+ 4,55	- 0,26	+ 4,81	16
900	17,00	+ 0,023	17,81	+ 0,14	+ 1,36	+ 1,22	- 3,00	+ 3,72	- 1,78	+ 5,50	17
1200	17,35	- 0,013	17,32	- 0,08	+ 2,14	+ 2,22	- 3,01	+ 4,72	- 0,79	+ 5,51	15
1500	17,15	+ 0,013	17,31	+ 0,08	+ 1,77	+ 1,69	- 2,97	+ 4,19	- 1,28	+ 5,47	14
1800	17,35	- 0,037	16,97	- 0,21	+ 2,38	+ 2,59	- 3,42	+ 5,09	- 0,83	+ 5,92	12
2100	16,80	+ 0,030	16,91	+ 0,18	+ 2,66	+ 2,48	- 3,56	+ 4,98	- 1,08	+ 6,06	9
2400	17,25	- 0,043	17,04	- 0,25	+ 2,02	+ 2,27	- 2,99	+ 4,77	- 0,72	+ 5,49	13
2700	16,60	+ 0,013	16,94	+ 0,08	+ 2,19	+ 2,11	- 3,28	+ 4,61	- 1,17	+ 5,78	10
3000	16,30	- 0,057	16,57	- 0,33	+ 3,66	+ 3,99	- 3,81	+ 6,49	+ 0,18	+ 6,31	8
3300	15,95	+ 0,023	16,42	+ 0,14	+ 3,54	+ 3,40	- 3,75	+ 5,90	- 0,35	+ 6,25	6
3600	16,30	+ 0,087	16,52	+ 0,04	+ 2,72	+ 2,68	- 4,03	+ 5,18	- 1,35	+ 6,53	7
3900	16,40	+ 0,027	16,94	+ 0,16	+ 2,47	+ 2,31	- 3,48	+ 4,81	- 1,17	+ 5,98	11
4200	16,80	- 0,073	16,02	- 0,43	+ 4,52	+ 4,95	- 4,42	+ 7,45	+ 0,53	+ 6,92	3
4500	15,70	+ 0,060	16,04	+ 0,35	+ 4,36	+ 4,01	- 4,54	+ 6,51	- 0,53	+ 7,04	4
4800	16,60	- 0,090	15,69	- 0,53	+ 4,77	+ 5,30	- 4,84	+ 7,80	+ 0,46	+ 7,34	1
5100	15,25	+ 0,060	16,13	+ 0,35	+ 3,89	+ 3,54	- 4,35	+ 6,04	- 0,81	+ 6,85	5
5400	16,15	+ 0,050	15,99	+ 0,29	+ 4,12	+ 3,83	- 4,34	+ 6,33	- 0,51	+ 6,84	2
Mittelwerte			16,79	-	-	-	-	+ 5,42	- 0,66	-	

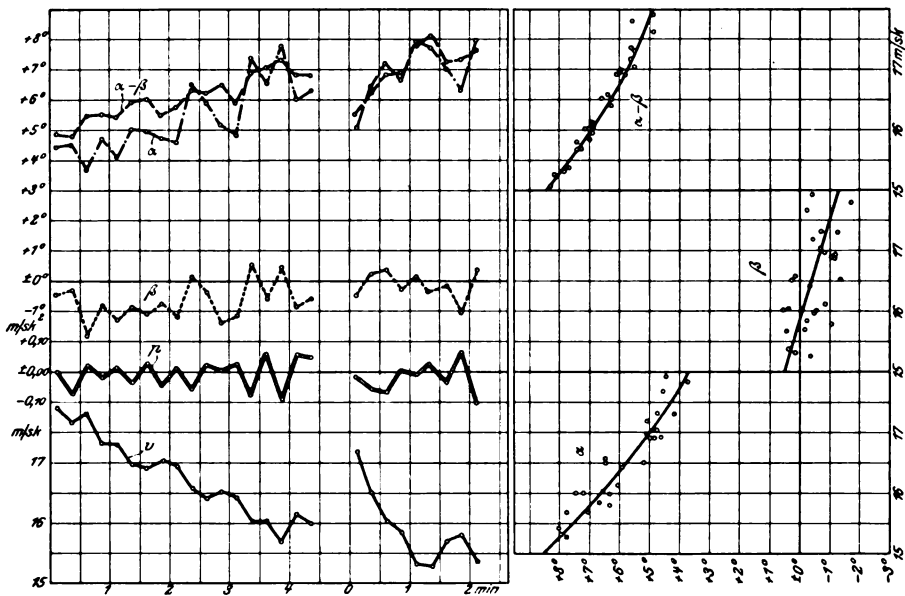


Abb. 25. 50-PS-Gnom-Spezialtyp (lfde. Nr. 11 und 14, 3. und 6. Mai 1912).

Tabelle 3.

50-PS-Gnom-Spezialtyp. Lfde. Nr. 14. 6. Mai 1912. $\psi = 2,50^\circ$, $\chi = 0,5^\circ$.

Weg des Papier- bandes	End- geschw. eines Abschn.	p	v	γ^0	φ'^0	φ^0	γ^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
mm	m/sec	m/sec ²	m/sec								
300	17,30	$\pm 0,015$	17,19	—	—	—	—	+ 5,10	- 0,44	+ 5,54	9
600	17,08	- 0,052	16,51	—	—	—	—	+ 6,47	+ 0,24	+ 6,23	8
900	16,31	- 0,063	16,03	—	—	—	—	+ 7,20	+ 0,39	+ 6,81	7
1200	15,37	+ 0,008	15,85	—	—	—	—	+ 6,68	- 0,26	+ 6,94	6
1500	15,49	- 0,008	15,33	—	—	—	—	+ 7,95	+ 0,14	+ 7,81	2
1800	15,37	+ 0,024	15,27	—	—	—	—	+ 7,78	- 0,36	+ 8,14	1
2100	15,73	- 0,032	15,70	—	—	—	—	+ 7,06	- 0,17	+ 7,23	4
2400	15,25	+ 0,063	15,80	—	—	—	—	+ 6,33	- 1,05	+ 7,38	5
2680	16,19	- 0,103	15,38	—	—	—	—	+ 8,00	+ 0,35	+ 7,65	3
			15,90	—	—	—	—	+ 6,95	- 0,13	+ 7,08	
10	—	—	17,30	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	- 0,66	16,64	- 3,86	+ 1,75	+ 1,11	- 3,04	+ 3,61	- 1,93	+ 5,54	—
50	—	+ 0,55	17,19	+ 3,22	+ 3,11	- 0,11	- 3,63	+ 2,39	- 3,74	+ 6,13	—
70	—	- 0,11	17,08	- 0,64	+ 4,08	+ 4,72	- 3,27	+ 7,22	+ 1,45	+ 5,77	—
90	—	$\pm 0,00$	17,08	$\pm 0,00$	+ 4,47	+ 4,47	- 3,04	+ 6,97	+ 1,43	+ 5,54	—
110	—	- 0,11	16,97	- 0,64	+ 2,92	+ 3,56	- 3,16	+ 6,06	+ 0,40	+ 5,66	—
130	—	+ 0,43	17,41	+ 2,52	+ 1,75	- 0,77	- 3,27	+ 1,73	- 4,04	+ 5,77	—
150	—	+ 0,31	17,72	+ 1,81	+ 2,14	+ 0,83	- 3,04	+ 3,33	- 2,21	+ 5,54	—
170	—	$\pm 0,00$	17,72	$\pm 0,00$	+ 2,33	+ 2,33	- 2,68	+ 4,83	- 0,35	+ 5,18	—
190	—	- 0,31	17,41	- 1,81	+ 2,14	+ 3,95	- 2,44	+ 6,45	+ 1,51	+ 4,94	—
210	—	- 0,22	17,19	- 1,29	+ 2,33	+ 3,62	- 2,56	+ 6,12	+ 1,06	+ 5,06	+
230	—	- 0,11	17,08	- 0,64	+ 2,72	+ 3,36	- 3,04	+ 5,86	+ 0,32	+ 5,54	—
250	—	- 0,11	16,97	- 0,64	+ 2,92	+ 3,56	- 3,16	+ 6,06	+ 0,40	+ 5,66	—
270	—	+ 0,22	17,19	+ 1,29	+ 3,31	+ 2,02	- 3,16	+ 4,52	- 1,14	+ 5,66	—
290	—	- 0,11	17,08	- 0,64	+ 3,11	+ 3,75	- 3,16	+ 6,25	+ 0,59	+ 5,66	—
310	—	$\pm 0,00$	17,08	$\pm 0,00$	+ 2,53	+ 2,53	- 2,92	+ 5,03	- 0,39	+ 5,42	—
330	—	- 0,11	16,97	- 0,64	+ 2,92	+ 3,56	- 3,04	+ 6,06	+ 0,52	+ 5,54	—
350	—	- 0,22	16,75	- 1,29	+ 3,11	+ 4,40	- 3,16	+ 6,90	+ 1,24	+ 5,66	—
370	—	- 0,11	16,64	- 0,64	+ 3,11	+ 3,75	- 3,39	+ 6,25	+ 0,36	+ 5,89	—
390	—	- 0,11	16,64	- 0,64	+ 2,92	+ 3,56	- 3,51	+ 6,06	+ 0,05	+ 6,01	—
410	—	$\pm 0,00$	16,53	$\pm 0,00$	+ 3,89	+ 3,89	- 3,51	+ 6,39	+ 0,38	+ 6,01	—
430	—	+ 0,11	16,53	+ 0,64	+ 4,08	+ 3,44	- 3,63	+ 5,94	- 0,19	+ 6,13	—
450	—	- 0,11	16,53	- 0,64	+ 4,08	+ 4,72	- 3,99	+ 7,22	+ 0,73	+ 6,49	—
470	—	- 0,22	16,31	- 1,29	+ 3,50	+ 4,79	- 4,10	+ 7,29	+ 0,69	+ 6,60	—
490	—	$\pm 0,00$	16,31	$\pm 0,00$	+ 3,89	+ 3,89	- 3,75	+ 6,39	+ 0,14	+ 6,25	—
510	—	+ 0,11	16,42	+ 0,64	+ 4,67	+ 4,03	- 4,10	+ 6,53	- 0,07	+ 6,60	—
530	—	$\pm 0,00$	16,42	$\pm 0,00$	+ 4,08	+ 4,08	- 4,22	+ 6,58	- 0,14	+ 6,72	—
550	—	+ 0,11	16,42	+ 0,64	+ 3,70	+ 3,06	- 4,10	+ 5,56	- 1,04	+ 6,60	—
570	—	- 0,11	16,53	- 0,64	+ 4,08	+ 4,72	- 4,22	+ 7,22	+ 0,50	+ 6,72	—
590	—	- 0,11	16,31	- 0,64	+ 3,89	+ 4,53	- 4,10	+ 6,03	+ 0,43	+ 6,60	—
610	—	$\pm 0,00$	16,31	$\pm 0,00$	+ 4,08	+ 4,08	- 4,10	+ 6,58	- 0,02	+ 6,60	—
630	—	- 0,12	16,19	- 0,70	- 4,47	+ 5,17	- 4,10	+ 7,67	+ 1,07	+ 6,60	—
650	—	- 0,11	16,08	- 0,64	+ 4,67	+ 5,31	- 4,10	+ 7,81	+ 1,21	+ 6,60	—
670	—	$\pm 0,00$	16,08	$\pm 0,00$	+ 4,28	+ 4,28	- 4,10	+ 6,78	+ 0,18	+ 6,60	—
690	—	+ 0,11	16,19	+ 0,64	+ 3,89	+ 3,25	- 4,34	+ 5,75	- 1,09	+ 6,84	—
710	—	+ 0,12	16,31	+ 0,70	+ 3,70	+ 3,00	- 4,57	+ 5,50	- 1,57	+ 7,07	—
730	—	$\pm 0,00$	16,31	$\pm 0,00$	+ 3,70	+ 3,70	- 4,10	+ 6,20	- 0,40	+ 6,60	—
750	—	$\pm 0,00$	16,31	$\pm 0,00$	+ 4,28	+ 4,28	- 4,22	+ 6,78	+ 0,06	+ 6,72	—
770	—	$\pm 0,00$	16,31	$\pm 0,00$	+ 3,89	+ 3,89	- 3,87	+ 6,39	+ 0,02	+ 6,37	—
790	—	- 0,12	16,31	- 0,70	+ 3,89	+ 4,59	- 4,10	+ 7,09	+ 1,49	+ 6,60	—
810	—	- 0,11	16,19	- 0,64	+ 4,47	+ 5,11	- 4,46	+ 7,61	+ 0,65	+ 6,96	—
830	—	$\pm 0,00$	16,08	$\pm 0,00$	+ 4,47	+ 4,47	- 4,46	+ 6,97	+ 0,01	+ 6,96	—
850	—	- 0,35	15,73	- 2,05	+ 4,67	+ 6,72	- 4,46	+ 9,22	+ 2,26	+ 6,96	—
870	—	- 0,12	15,61	- 0,70	+ 4,86	+ 5,56	- 4,69	+ 8,06	+ 0,87	+ 7,19	—

Zu Tabelle Nr. 3.

50-PS-Gnom-Spezialtyp. Lfd. Nr. 14. 6. Mai 1912. $\psi = 2,50^\circ$. $\chi = 0,5^\circ$.

Weg des Papier- bandes	Endge- schw. eines Abschn.	p	v	ν^0	φ^0	φ^0	γ^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
mm	m/sec	m/sec ²	m/sec								
890	—	± 0,00	15,61	± 0,00	+ 5,06	+ 5,06	- 4,69	+ 7,56	+ 0,37	+ 7,19	—
910	—	- 0,24	15,37	- 1,40	+ 4,86	+ 6,26	- 4,57	+ 8,76	+ 1,69	+ 7,07	—
930	—	+ 0,24	15,61	+ 1,40	+ 5,25	+ 3,85	- 4,46	+ 6,35	- 0,61	+ 6,96	—
950	—	+ 0,23	15,84	+ 1,34	+ 4,47	+ 3,13	- 4,81	+ 5,63	- 1,68	+ 7,31	—
970	—	± 0,00	15,84	± 0,00	+ 4,67	+ 4,67	- 4,93	+ 7,17	- 0,26	+ 7,43	—
1090	—	± 0,00	15,84	± 0,00	+ 4,28	+ 4,28	- 4,57	+ 6,78	- 0,29	+ 7,07	—
1010	—	+ 0,12	15,84	+ 0,70	+ 3,50	+ 2,80	- 4,46	+ 5,30	- 1,66	+ 6,96	—
1030	—	± 0,00	15,96	± 0,00	+ 4,28	+ 4,28	- 4,81	+ 6,78	- 0,53	+ 7,31	—
1050	—	+ 0,12	16,08	+ 0,70	+ 4,08	+ 3,38	- 4,57	+ 5,88	- 1,19	+ 7,07	—
1070	—	+ 0,11	16,19	+ 0,64	+ 4,08	+ 3,44	- 4,57	+ 5,94	- 1,13	+ 7,07	—
1090	—	± 0,00	16,19	± 0,00	+ 3,70	+ 3,70	- 4,10	+ 6,20	- 0,40	+ 6,60	—
1110	—	- 0,23	15,96	- 1,34	+ 3,89	+ 5,23	- 3,99	+ 7,73	+ 1,24	+ 6,49	—
1130	—	± 0,00	15,96	± 0,00	+ 3,70	+ 3,70	- 3,99	+ 6,20	- 0,29	+ 6,49	—
1150	—	- 0,23	15,96	- 1,34	+ 4,28	+ 5,62	- 4,22	+ 8,12	+ 1,40	+ 6,72	—
1170	—	- 0,24	15,73	- 1,40	+ 5,06	+ 6,46	- 4,57	+ 8,96	+ 1,89	+ 7,07	—
1190	—	± 0,00	15,49	± 0,00	+ 5,25	+ 5,25	- 4,93	+ 7,75	+ 0,32	+ 7,43	—
1210	—	+ 0,12	15,49	+ 0,70	+ 5,45	+ 4,75	- 5,51	+ 7,25	- 0,76	+ 8,01	—
1230	—	+ 0,35	15,61	+ 2,05	+ 6,61	+ 4,56	- 5,04	+ 7,06	- 0,48	+ 7,54	—
1250	—	- 0,23	15,96	- 1,34	+ 5,06	+ 6,40	- 4,69	+ 8,90	+ 1,71	+ 7,19	—
1270	—	- 0,12	15,73	- 0,70	+ 4,28	+ 4,98	- 5,28	+ 7,48	- 0,30	+ 7,78	—
1290	—	- 0,36	15,61	- 2,11	+ 4,86	+ 6,97	- 5,39	+ 9,47	+ 1,58	+ 7,89	—
1310	—	± 0,00	15,25	± 0,00	+ 5,64	+ 5,64	- 5,28	+ 8,14	+ 0,36	+ 7,78	—
1330	—	- 0,13	15,12	- 0,76	+ 5,84	+ 6,60	- 5,28	+ 9,10	+ 1,32	+ 7,78	—
1350	—	± 0,00	15,12	± 0,00	+ 6,03	+ 6,03	- 5,39	+ 8,53	+ 0,64	+ 7,89	—
1370	—	± 0,00	15,12	± 0,00	+ 5,84	+ 5,84	- 5,39	+ 8,34	+ 0,45	+ 7,89	—
1390	—	+ 0,13	15,25	+ 0,76	+ 4,86	+ 4,10	- 5,62	+ 6,60	- 1,52	+ 8,12	—
1410	—	- 0,13	15,25	- 0,76	+ 5,25	+ 6,01	- 5,39	+ 8,51	+ 0,62	+ 7,89	—
1430	—	- 0,12	15,12	- 0,70	+ 5,45	+ 6,15	- 5,39	+ 8,65	+ 0,76	+ 7,89	—
1450	—	+ 0,25	15,00	+ 1,46	+ 5,45	+ 3,99	- 5,04	+ 6,49	- 1,05	+ 7,54	—
1470	—	+ 0,12	15,37	+ 0,70	+ 4,47	+ 3,77	- 5,39	+ 6,27	- 1,62	+ 7,89	—
1490	—	± 0,00	15,37	± 0,00	+ 5,06	+ 5,06	- 5,28	+ 7,56	- 0,22	+ 7,78	—
1510	—	± 0,00	15,37	± 0,00	+ 5,64	+ 5,64	- 5,74	+ 8,14	- 0,10	+ 8,24	—
1530	—	- 0,12	15,25	- 0,70	+ 5,45	+ 6,15	- 5,62	+ 8,65	+ 0,53	+ 8,12	—
1550	—	- 0,25	15,00	- 1,46	+ 5,45	+ 6,91	- 5,28	+ 9,41	+ 1,63	+ 7,78	—
1570	—	± 0,00	15,00	± 0,00	+ 5,45	+ 5,45	- 5,39	+ 7,95	+ 0,06	+ 7,89	—
1590	—	± 0,00	15,00	± 0,00	+ 5,64	+ 5,64	- 5,39	+ 8,14	+ 0,25	+ 7,89	—
1610	—	± 0,00	15,00	± 0,00	+ 6,41	+ 6,41	- 5,39	+ 8,91	+ 1,02	+ 7,89	—
1630	—	- 0,25	14,75	- 1,46	+ 5,64	+ 7,10	- 5,39	+ 9,60	+ 1,71	+ 7,89	—
1650	—	± 0,00	14,75	± 0,00	+ 5,25	+ 5,25	- 5,62	+ 7,75	- 0,37	+ 8,12	—
1670	—	+ 0,25	15,00	+ 1,46	+ 5,64	+ 4,18	- 5,74	+ 6,68	- 1,56	+ 8,24	—
1690	—	+ 0,12	15,12	+ 0,70	+ 6,41	+ 5,71	- 5,51	+ 8,21	+ 0,20	+ 8,01	—
1710	—	+ 0,25	15,37	+ 1,46	+ 4,28	+ 2,82	- 5,39	+ 5,32	- 2,57	+ 7,89	—
1730	—	+ 0,24	15,37	+ 1,40	+ 3,89	+ 2,49	- 5,28	+ 4,99	- 2,76	+ 7,75	—
1750	—	+ 0,12	15,61	+ 0,70	+ 4,08	+ 3,38	- 5,28	+ 5,88	- 1,90	+ 7,78	—
1770	—	+ 0,11	15,73	+ 0,64	+ 4,86	+ 4,22	- 4,93	+ 6,72	- 0,71	+ 7,43	—
1790	—	- 0,11	15,84	- 0,64	+ 4,47	+ 5,11	- 4,81	+ 7,61	+ 0,30	+ 7,31	—
1810	—	+ 0,11	15,73	+ 0,64	+ 4,08	+ 3,44	- 4,69	+ 5,94	- 1,25	+ 7,19	—
1830	—	± 0,00	15,84	± 0,00	+ 3,70	+ 3,70	- 4,34	+ 6,20	- 0,64	+ 6,84	—
1850	—	- 0,11	15,84	- 0,64	+ 4,08	+ 4,72	- 4,34	+ 7,22	+ 0,38	+ 6,84	—
1870	—	± 0,00	15,73	± 0,00	+ 4,67	+ 4,67	- 4,81	+ 7,17	- 0,14	+ 7,31	—
1890	—	- 0,12	15,73	- 0,70	+ 4,67	+ 5,37	- 5,04	+ 7,87	+ 0,33	+ 7,54	—
1910	—	± 0,00	15,61	± 0,00	+ 4,28	+ 4,28	- 4,93	+ 6,78	- 0,65	+ 7,43	—
1930	—	+ 0,12	15,61	+ 0,70	+ 4,86	+ 4,16	- 4,81	+ 6,66	- 0,65	+ 7,31	—
1950	—	+ 0,11	15,84	+ 0,64	+ 3,89	+ 3,22	- 4,34	+ 5,72	- 1,12	+ 6,84	—
1970	—	± 0,00	15,84	± 0,00	+ 4,28	+ 4,28	- 4,46	+ 6,78	- 0,18	+ 6,96	—
1990	—	- 0,11	15,84	- 0,64	+ 3,89	+ 4,53	- 4,69	+ 7,03	- 0,16	+ 7,19	—
2010	—	+ 0,11	15,84	+ 0,64	+ 4,08	+ 3,44	- 4,93	+ 5,94	- 1,49	+ 7,43	—

Zu Tabelle 3.

50-PS-Gnom-Spezialtyp. Lfde. Nr. 14. 6. Mai 1912. $\psi = 2,50^\circ$, $\chi = 0,5^\circ$.

Weg des Papier- bandes	Endge- schw. eines Abschn.	P	v	γ^0	φ^0	φ^0	γ^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
mm	m/sec	m/sec ²	m/sec								
2030	—	-0,11	15,73	-0,64	+4,28	+4,92	-4,69	+7,42	+0,23	+7,19	—
2050	—	+0,11	15,84	+0,64	+4,47	+3,83	-4,81	+6,33	-0,98	+7,31	—
2070	—	-0,11	15,73	-0,64	+4,67	+5,31	-4,93	+7,81	+0,38	+7,43	—
2090	—	-0,24	15,49	-1,40	+4,47	+5,87	-4,93	+8,37	+0,94	+7,43	—
2110	—	-0,24	15,25	-1,40	+4,67	+6,07	-4,93	+8,57	+1,14	+7,43	—
2130	—	+0,24	15,49	+1,40	+5,06	+3,66	-5,16	+6,16	-1,50	+7,66	—
2150	—	+0,12	15,49	+0,70	+4,86	+4,16	-5,28	+6,66	-1,14	+7,78	—
2170	—	$\pm 0,00$	15,61	$\pm 0,00$	+4,67	+4,67	-5,28	+7,16	-0,61	+7,78	—
2190	—	+0,12	15,61	+0,70	+3,89	+3,19	-4,93	+5,69	-1,74	+7,43	—
2210	—	+0,23	15,73	+1,34	+4,47	+3,13	-4,93	+5,63	-1,80	+7,43	—
2230	—	-0,12	15,96	-0,70	+4,08	+4,78	-5,04	+7,28	-0,26	+7,54	—
2250	—	-0,23	15,84	-1,34	+4,28	+5,62	-5,16	+8,12	+0,48	+7,66	—
2270	—	-0,12	15,61	-0,70	+4,86	+5,56	-5,16	+8,06	+0,40	+7,66	—
2290	—	+0,24	15,49	+1,40	+4,67	+3,27	-5,28	+5,77	-2,01	+7,78	—
2310	—	+0,11	15,73	+0,64	+4,28	+3,64	-5,04	+6,14	-1,40	+7,54	—
2330	—	$\pm 0,00$	15,84	$\pm 0,00$	+3,50	+3,50	-4,57	+6,00	-1,07	+7,07	—
2350	—	+0,12	15,84	+0,70	+3,50	+2,80	-4,57	+5,30	-1,77	+7,07	—
2370	—	+0,12	15,96	+0,70	+3,31	+2,61	-4,34	+5,11	-1,73	+7,84	—
2390	—	+0,11	16,08	+0,64	+2,92	+2,28	-4,22	+4,78	-1,94	+7,72	—
2410	—	-0,11	16,19	-0,64	+3,89	+4,53	-4,22	+7,03	+0,31	+6,72	—
2430	—	$\pm 0,00$	16,08	$\pm 0,00$	+4,47	+4,47	-4,57	+6,97	-0,10	+7,07	—
2450	—	-0,35	16,08	-2,05	+4,08	+6,13	-4,69	+8,63	+1,44	+7,19	—
2470	—	-0,12	15,73	-0,70	+4,28	+4,98	-4,81	+7,48	+0,17	+7,31	—
2490	—	$\pm 0,00$	15,61	$\pm 0,00$	+5,06	+5,06	-4,93	+7,56	+0,13	+7,43	—
2510	—	$\pm 0,00$	15,61	$\pm 0,00$	+4,86	+4,86	-5,04	+7,36	-0,18	+7,54	—
2530	—	-0,12	15,61	-0,70	+4,67	+5,37	-5,28	+7,87	+0,09	+7,78	—
2550	—	$\pm 0,00$	15,49	$\pm 0,00$	+5,45	+5,45	-5,16	+7,95	+0,29	+7,66	—
2570	—	-0,12	15,49	-0,70	+4,86	+5,56	-5,39	+8,06	+0,17	+7,89	—
2590	—	$\pm 0,00$	15,37	$\pm 0,00$	+4,67	+4,47	-5,39	+6,97	-0,92	+7,89	—
2610	—	-0,12	15,37	-0,70	+4,86	+5,56	-5,16	+8,06	+0,40	+7,66	—
2630	—	-0,13	15,25	-0,76	+5,64	+6,40	-5,28	+8,90	+1,12	+7,78	—
2650	—	-0,12	15,12	-0,70	+5,45	+6,15	-5,39	+8,65	+0,76	+7,89	—
2670	—	-0,12	15,00	-0,70	+5,45	+6,15	-5,51	+8,65	+0,64	+8,01	—
2690	—	-0,13	14,88	-0,76	+5,64	+6,40	-5,51	+8,90	+0,89	+8,01	—
2710	—	-0,13	14,75	-0,76	+5,64	+6,40	-5,51	+8,90	+0,89	+8,01	—

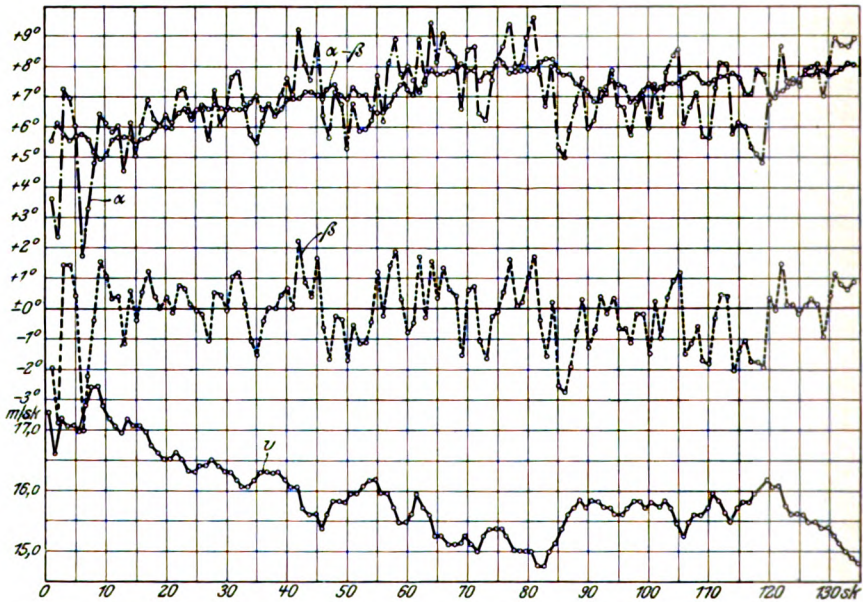


Abb. 26. 50-PS-Gnom-Spezialtyp (Lfde. Nr. 14, 6. Mai 1912).

Tabelle 4.

50-PS-Gnom. Lfde. Nr. 18 (mit Fluggast). 20. Mai 1912. $\psi = 2,0^\circ$, $\chi = 2,70^\circ$.

Weg des Papierbandes	Endgeschw. eines Abschn.	p	v	ν°	φ'°	φ°	η°	α°	β°	$\alpha^\circ - \beta^\circ$	Reihenfolge
mm	m/sec	m/sec ²	m/sec								
300	17,11	+ 0,036	17,67	+ 0,21	+ 1,74	+ 1,53	- 2,93	+ 3,53	- 1,40	+ 4,93	3
600	17,65	\pm 0,000	17,54	\pm 0,00	+ 1,50	+ 1,50	- 2,56	+ 3,50	- 1,06	+ 4,56	2
900	17,65	+ 0,020	17,84	+ 0,12	+ 1,42	+ 1,30	- 3,09	+ 3,30	- 1,79	+ 5,09	6
1200	17,95	+ 0,027	18,08	+ 0,16	+ 0,66	+ 0,50	- 3,78	+ 2,50	- 3,28	+ 5,78	8
1500	18,35	- 0,076	17,71	- 0,44	+ 1,33	+ 1,77	- 4,44	+ 3,77	- 2,67	+ 6,44	4
1800	17,21	+ 0,043	17,80	+ 0,25	+ 1,42	+ 1,17	- 3,81	+ 3,17	- 2,64	+ 5,81	5
2100	17,85	+ 0,020	17,98	+ 0,12	+ 1,08	+ 0,96	- 4,30	+ 2,96	- 3,34	+ 6,30	7
2400	18,15	- 0,077	18,42	- 0,45	- 0,01	+ 0,44	- 4,81	+ 2,44	- 4,37	+ 6,81	9
2700	17,00	\pm 0,000	17,45	\pm 0,00	+ 2,70	+ 2,70	- 5,14	+ 4,70	- 2,44	+ 7,14	1
Mittelwerte			17,83	-	-	-	-	+ 3,32	- 2,55	+ 5,87	

Tabelle 5.

50-PS-Gnom. Lfde. Nr. 20 (mit Fluggast). 21. Mai 1912. $\psi = 2,0^\circ$, $\chi = 2,70^\circ$.

Weg des Papierbandes	Endgeschw. eines Abschn.	p	v	ν°	φ'°	φ°	η°	α°	β°	$\alpha^\circ - \beta^\circ$	Reihenfolge
mm	m/sec	m/sec ²	m/sec								
300	17,00	+ 0,014	16,98	+ 0,08	+ 3,56	+ 3,48	- 5,28	+ 5,48	- 1,80	+ 7,28	2
600	17,21	\pm 0,000	17,17	\pm 0,00	+ 2,87	+ 2,87	- 4,96	+ 4,87	- 2,09	+ 6,96	4
900	17,21	+ 0,033	17,15	+ 0,19	+ 2,45	+ 2,26	- 4,00	+ 4,26	- 1,74	+ 6,00	3
1200	17,75	- 0,033	17,34	- 0,19	+ 1,73	+ 1,92	- 3,30	+ 3,92	- 1,38	+ 5,30	6
1500	17,21	+ 0,043	17,63	- 0,25	+ 1,16	+ 0,91	- 2,96	+ 2,91	- 2,05	+ 4,96	8
1800	17,85	+ 0,027	17,39	+ 0,16	+ 1,04	+ 0,88	- 2,84	+ 2,88	- 1,96	+ 4,84	7
2100	18,25	+ 0,047	18,33	+ 0,27	- 0,18	- 0,45	- 2,93	+ 1,55	- 3,38	+ 4,93	12
2400	18,95	- 0,040	18,88	- 0,23	- 2,11	- 1,88	- 3,16	+ 0,12	- 5,04	+ 5,16	15
2700	18,35	+ 0,027	17,78	+ 0,16	- 0,22	- 0,38	- 3,17	+ 1,62	- 3,55	+ 5,17	9
3000	18,75	- 0,081	18,30	- 0,47	+ 0,01	+ 0,48	- 3,27	+ 2,48	- 2,79	+ 5,27	11
3300	17,54	- 0,080	17,24	- 0,47	+ 3,66	+ 4,13	- 3,88	+ 6,13	+ 0,25	+ 5,88	5
3600	16,34	+ 0,121	16,40	+ 0,71	+ 2,08	+ 1,37	- 4,79	+ 3,37	- 3,42	+ 6,79	1
3900	18,15	+ 0,027	18,77	+ 0,16	- 0,82	- 0,98	- 4,02	+ 1,02	- 5,00	+ 6,02	14
4200	18,55	- 0,027	18,53	- 0,16	- 0,30	- 0,14	- 3,38	+ 1,86	- 3,52	+ 5,38	13
4500	18,15	- 0,007	17,90	- 0,04	+ 1,00	+ 1,04	- 4,00	+ 3,04	- 2,96	+ 6,00	10
Mittelwerte			17,72	-	-	-	-	+ 3,03	- 2,70	+ 5,73	

Tabelle 6.

50-PS-Gnom. Lfde. Nr. 17 und 21. 20. und 23. Mai 1912. $\psi = 2,0^\circ$, $\chi = 2,7^\circ$.

Weg des Papierbandes	Endgeschw. eines Abschn.	P	v	ν^0	φ'^0	φ^0	η^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
mm	m/sec	m/sec ²	m/sec								
300	17,65	+ 0,027	17,43	+ 0,16	+ 1,48	+ 1,32	- 2,42	+ 3,32	- 1,10	+ 4,42	1
600	18,05	- 0,007	17,70	- 0,04	+ 0,68	+ 0,72	- 2,04	+ 2,72	- 1,32	+ 4,04	2
900	17,95	+ 0,060	17,81	+ 0,35	- 0,34	- 0,69	- 2,21	+ 1,31	- 2,90	+ 4,21	3
300	15,83	+ 0,088	16,55	+ 0,51	+ 2,36	+ 1,85	- 2,73	+ 3,85	- 0,88	+ 4,73	5
600	17,15	- 0,015	16,72	- 0,09	+ 0,47	+ 0,56	- 2,03	+ 2,56	- 1,47	+ 4,03	7
900	16,93	- 0,015	17,09	- 0,09	+ 0,76	+ 0,85	- 2,14	+ 2,85	- 1,29	+ 4,14	11
1200	16,71	- 0,029	16,66	- 0,17	+ 0,48	+ 0,65	- 2,33	+ 2,65	- 1,68	+ 4,33	6
1500	16,28	+ 0,058	16,92	+ 0,34	+ 0,80	+ 0,46	- 2,18	+ 2,46	- 1,72	+ 4,18	8
1800	17,15	+ 0,021	17,18	+ 0,12	+ 0,12	± 0,00	- 2,07	+ 2,00	- 2,07	+ 4,07	18
2100	17,47	+ 0,034	17,14	+ 0,20	- 0,64	- 0,84	- 2,15	+ 1,16	- 2,99	+ 4,15	15
2400	17,98	- 0,070	17,12	- 0,41	+ 0,86	+ 1,27	- 3,88	+ 3,27	- 2,61	+ 5,88	12
2700	16,93	- 0,01	17,05	- 0,09	+ 0,95	+ 1,04	- 3,32	+ 3,04	- 2,28	+ 5,32	10
3000	16,71	- 0,007	16,52	- 0,43	+ 1,87	+ 2,30	- 3,98	+ 4,30	- 1,68	+ 5,98	4
3300	16,60	+ 0,015	16,50	+ 0,09	+ 1,88	+ 1,79	- 3,02	+ 3,79	- 1,23	+ 5,02	3
3600	16,82	+ 0,007	16,44	+ 0,43	+ 1,56	+ 1,13	- 2,73	+ 3,13	- 1,60	+ 4,73	1
Mittelwerte			17,21	—	—	—	—	+ 2,53	- 2,37	+ 4,90	

(aus lfd. Nr. 17, 21 und 22).

Tabelle 7.

50-PS-Gnom. Lfde. Nr. 22. 23. Mai 1912. $\psi = 2,0^\circ$, $\chi = 2,7^\circ$.

Weg des Papierbandes	Endgeschw. eines Abschn.	P	v	ν^0	φ'^0	φ^0	η^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
mm	m/sec	m/sec ²	m/sec								
300	17,47	± 0,000	17,72	± 0,00	+ 0,28	+ 0,28	- 2,09	+ 2,28	- 1,81	+ 4,09	27
600	17,47	+ 0,073	17,73	+ 0,43	- 0,55	- 0,98	- 2,14	+ 1,02	- 3,12	+ 4,14	28
900	18,57	- 0,067	17,39	- 0,39	- 0,29	+ 0,10	- 4,46	+ 2,10	- 4,36	+ 6,46	23
1200	17,57	+ 0,021	17,36	+ 0,12	+ 0,07	- 0,05	- 2,26	+ 1,95	- 2,31	+ 4,26	22
1500	17,88	+ 0,013	17,90	+ 0,08	- 0,76	- 0,84	- 1,91	+ 1,16	- 2,75	+ 3,91	29
1800	18,08	- 0,143	17,14	- 0,84	- 0,34	+ 0,50	- 2,08	+ 2,50	- 1,58	+ 4,08	16
2100	16,93	+ 0,063	17,12	+ 0,37	+ 0,32	- 0,05	- 2,25	+ 1,95	- 2,30	+ 4,25	13
2400	17,98	- 0,035	17,64	- 0,20	- 0,54	- 0,34	- 2,65	+ 1,66	- 2,99	+ 4,65	26
2700	17,36	- 0,029	17,13	- 0,17	+ 0,63	+ 0,80	- 4,44	+ 2,80	- 3,64	+ 6,44	14
3000	16,93	+ 0,043	17,46	+ 0,25	+ 1,11	+ 0,86	- 4,41	+ 2,86	- 3,55	+ 6,41	24
3300	17,57	- 0,050	16,92	- 0,29	+ 1,95	+ 2,24	- 5,09	+ 4,24	- 2,85	+ 7,09	9
3600	16,82	- 0,029	17,58	- 0,17	+ 2,00	+ 2,17	- 4,01	+ 4,17	- 1,84	+ 6,01	25
3900	16,39	+ 0,085	17,17	+ 0,50	+ 0,62	+ 0,12	- 3,36	+ 2,12	- 3,24	+ 5,36	17
4200	17,67	- 0,078	17,29	- 0,46	+ 0,18	+ 0,64	- 2,99	+ 2,64	- 2,35	+ 4,99	21
4500	16,50	+ 0,007	16,48	+ 0,04	+ 1,42	+ 1,38	- 4,07	+ 3,38	- 2,69	+ 6,07	2
4800	16,60	+ 0,051	17,26	+ 0,30	- 0,21	- 0,51	- 2,21	+ 1,49	- 2,72	+ 4,21	19
5100	17,36	+ 0,061	18,43	+ 0,36	- 1,97	- 2,33	- 3,17	- 0,33	- 5,50	+ 5,17	30
5400	18,28	- 0,112	17,28	- 0,66	+ 0,38	+ 1,04	- 2,91	+ 3,04	- 1,86	+ 4,91	20
Mittelwerte			17,21	—	—	—	—	+ 2,53	- 2,37	+ 4,90	

(aus lfd. Nr. 17, 21 und 22).

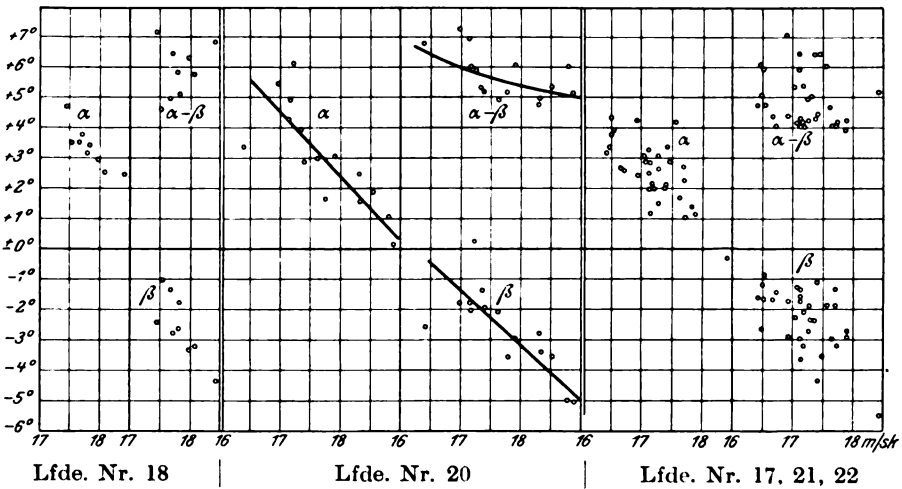
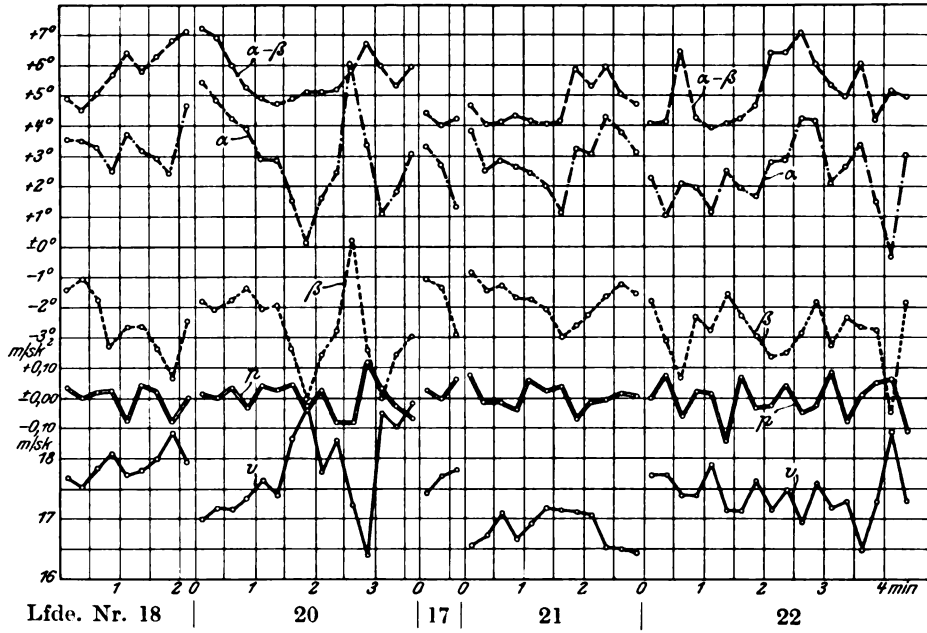


Abb. 27 und 28. 50-PS-Gnom (lfde. Nr. 18, 20, 17, 21, 22; 20., 21., 23. Mai 1912).

Tabelle 8.

100-PS-Argus - Doppeltaube. Lfde. Nr. 23 (mit Fluggast). 5. Juni 1912. $\psi = 4,0^\circ$, $\chi = 2,22^\circ$.

Weg des Papier- bandes	End- geschw. eines Abschn.	p	v	ν^0	φ^0	φ^0	γ^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
mm	m/sec	m/sec ²	m/sec								
300	21,51	-0,012	21,18	-0,07	+1,98	+2,05	-1,86	+6,05	+0,19	+5,86	1
600	21,33	+0,057	21,38	+0,33	+1,79	+1,46	-1,65	+5,46	-0,19	+5,65	2
900	22,18	-0,011	22,89	-0,06	-0,05	+0,01	-1,02	+4,01	-1,01	+5,02	5
1200	22,02	+0,077	23,71	+0,45	-1,26	-1,71	-0,72	+2,29	-2,43	+4,72	10
1500	23,17	-0,027	22,36	-0,16	-0,53	-0,37	-1,07	+3,63	-1,44	+5,07	3
1800	22,76	+0,005	23,21	+0,03	-0,51	-0,54	-0,88	+3,46	-1,42	+4,88	6
2100	22,84	+0,089	23,53	+0,52	-0,75	-1,27	-0,77	+2,73	-2,04	+4,77	9
2400	24,18	+0,036	24,70	+0,21	-1,94	-2,15	-0,53	+1,85	-2,68	+4,53	14
2700	24,72	-0,125	24,04	-0,74	-1,30	-0,56	-0,63	+3,44	-1,19	+4,63	11
3000	22,84	+0,011	22,62	+0,07	+0,22	+0,15	-1,10	+4,15	-0,95	+5,10	4
3300	23,01	+0,031	23,28	+0,18	-0,39	-0,57	-0,92	+3,43	-1,49	+4,92	7
3600	23,48	+0,057	24,07	+0,34	-1,35	-1,69	-0,65	+2,31	-2,34	+4,65	12
3900	24,34	-0,047	24,20	-0,27	-1,53	-1,26	-0,58	+2,74	-1,84	+4,58	13
4200	23,64	+0,005	23,44	+0,03	-0,54	-0,57	-0,79	+3,43	-1,36	+4,79	8
Mittelwerte			23,50	—	—	—	—	+3,12	-1,68	+4,80	
(aus Papierbandstrecke 900—4200).											

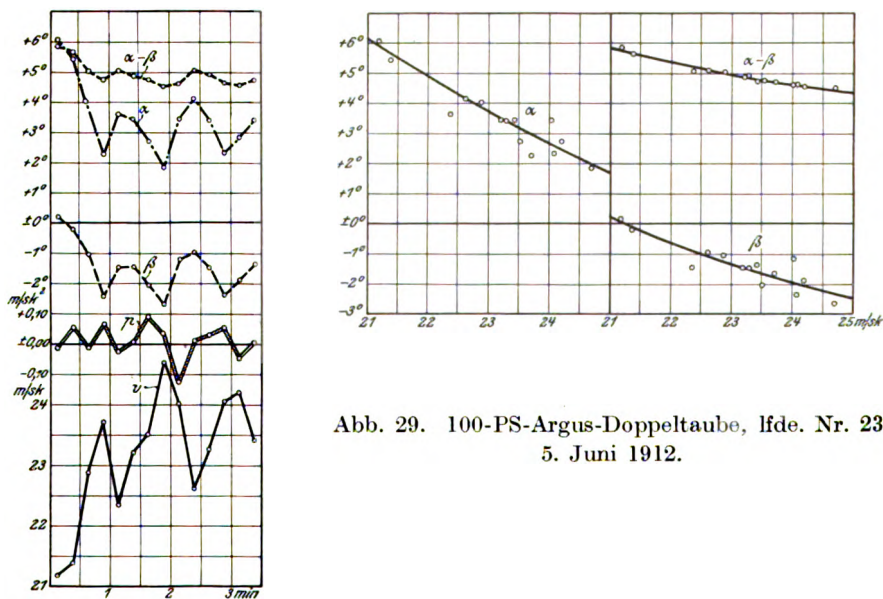


Abb. 29. 100-PS-Argus-Doppeltaube, lfde. Nr. 23, 5. Juni 1912.

Tabelle 9.

100-PS-Argus-Doppeltaube. Lfd. Nr. 24. 5. Juni 1912. $\psi = 4,0^\circ$, $\chi = 2,22^\circ$.

Weg des Papier- bandes mm	Ent- geschw. eines Abschn. m/sec	P m/sec ²	v m/sec	ν^0	φ^0	φ^0	γ^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
300	20,89	+ 0,109	21,98	—	—	—	—	+ 3,96	- 0,55	+ 4,51	2
600	22,52	+ 0,121	23,25	—	—	—	—	+ 2,83	- 1,49	+ 4,32	4
900	24,34	+ 0,030	24,62	—	—	—	—	+ 1,61	- 2,21	+ 3,82	13
1200	24,79	- 0,010	25,07	—	—	—	—	+ 1,43	- 2,40	+ 3,83	22
1500	24,64	- 0,025	24,40	—	—	—	—	+ 2,35	- 1,66	+ 4,01	10
1800	24,26	+ 0,035	24,36	—	—	—	—	+ 1,91	- 1,91	+ 3,82	9
2100	24,79	- 0,020	24,74	—	—	—	—	+ 1,77	- 2,01	+ 3,78	15
2400	24,49	+ 0,007	24,45	—	—	—	—	+ 2,19	- 1,82	+ 4,01	11
2640	24,56	+ 0,063	24,86	—	—	—	—	+ 1,12	- 2,67	+ 3,79	19
30	—	+ 0,27	20,89	+ 1,59	+ 1,56	- 0,03	- 0,74	+ 3,97	- 0,77	+ 4,74	—
50	—	+ 0,08	21,16	+ 0,47	+ 1,56	+ 1,09	- 0,74	+ 5,09	+ 0,35	+ 4,74	—
70	—	+ 0,27	21,24	+ 1,59	+ 1,17	- 0,42	- 0,62	+ 3,58	- 1,04	+ 4,62	—
90	—	+ 0,17	21,51	+ 0,99	+ 1,37	+ 0,38	- 0,62	+ 4,38	- 0,24	+ 4,62	—
110	—	+ 0,08	21,68	+ 0,47	+ 1,17	+ 0,70	- 0,62	+ 4,70	+ 0,08	+ 4,62	—
130	—	+ 0,09	21,76	+ 0,53	+ 0,59	+ 0,06	- 0,49	+ 4,06	- 0,43	+ 4,49	—
150	—	\pm 0,00	21,85	\pm 0,00	+ 0,59	+ 0,59	- 0,37	+ 4,59	+ 0,22	+ 4,37	—
170	—	+ 0,17	21,85	+ 0,99	+ 0,39	- 0,60	- 0,49	+ 3,40	- 1,09	+ 4,49	—
190	—	+ 0,16	22,02	+ 0,94	+ 1,17	+ 0,23	- 0,37	+ 4,23	- 0,14	+ 4,37	—
210	—	- 0,08	22,18	- 0,47	- 0,20	+ 0,27	- 0,49	+ 4,27	- 0,22	+ 4,49	—
230	—	+ 0,08	22,10	+ 0,47	- 0,20	- 0,67	- 0,49	+ 3,33	- 1,16	+ 4,49	—
250	—	+ 0,34	22,18	+ 1,99	+ 1,17	- 0,72	- 0,37	+ 3,28	- 1,09	+ 4,37	—
270	—	+ 0,08	22,52	+ 0,47	\pm 0,00	- 0,47	- 0,37	+ 3,53	- 0,84	+ 4,37	—
290	—	\pm 0,00	22,60	\pm 0,00	- 0,39	- 0,39	- 0,49	+ 3,61	- 0,88	+ 4,49	—
310	—	- 0,08	22,60	- 0,47	+ 0,20	- 0,67	- 0,37	+ 3,33	- 1,04	+ 4,37	—
330	—	+ 0,08	22,52	+ 0,47	+ 0,39	- 0,08	- 0,49	+ 3,92	- 0,57	+ 4,49	—
350	—	\pm 0,00	22,60	\pm 0,00	+ 0,39	+ 0,39	- 0,37	+ 4,39	+ 0,02	+ 4,37	—
370	—	\pm 0,00	22,60	\pm 0,00	- 0,59	- 0,59	- 0,49	+ 3,41	- 1,08	+ 4,49	—
390	—	+ 0,32	22,60	+ 1,87	- 0,20	- 2,07	- 0,49	+ 1,93	- 2,56	+ 4,49	—
410	—	+ 0,17	22,92	+ 0,99	+ 0,59	- 0,40	- 0,37	+ 3,60	- 0,77	+ 4,37	—
430	—	- 0,08	23,09	- 0,47	- 0,39	+ 0,08	- 0,49	+ 4,08	- 0,41	+ 4,49	—
450	—	- 0,09	23,01	- 0,53	- 0,78	- 0,15	- 0,37	+ 3,85	- 0,52	+ 4,37	—
470	—	+ 0,17	22,92	+ 0,99	\pm 0,00	- 0,99	- 0,12	+ 3,01	- 1,12	+ 4,12	—
490	—	+ 0,16	23,09	+ 0,94	- 0,39	- 1,33	- 0,25	+ 2,67	- 1,58	+ 4,25	—
510	—	+ 0,08	23,25	+ 0,47	- 0,78	- 1,25	- 0,25	+ 2,75	- 1,50	+ 4,25	—
530	—	+ 0,07	23,33	+ 0,41	- 0,59	- 1,00	- 0,12	+ 3,00	- 1,12	+ 4,12	—
550	—	+ 0,16	23,40	+ 0,94	- 0,78	- 1,72	- 0,25	+ 2,28	- 1,97	+ 4,25	—
570	—	+ 0,08	23,56	+ 0,47	- 1,37	- 1,84	- 0,25	+ 2,16	- 2,09	+ 4,25	—
590	—	+ 0,24	23,64	+ 1,41	- 1,95	- 3,36	- 0,25	+ 0,64	- 3,61	+ 4,25	—
610	—	+ 0,46	23,88	+ 2,69	- 0,59	- 3,28	- 0,25	+ 0,72	- 3,53	+ 4,25	—
630	—	+ 0,07	24,34	+ 0,41	- 1,17	- 1,58	- 0,25	+ 2,42	- 1,83	+ 4,25	—
650	—	- 0,15	24,41	- 0,88	- 2,34	- 1,46	- 0,12	+ 2,54	- 1,58	+ 4,12	—
670	—	\pm 0,00	24,26	\pm 0,00	- 1,76	- 1,76	\pm 0,00	+ 2,24	- 1,76	+ 4,00	—
690	—	+ 0,38	24,26	+ 2,22	- 2,15	- 4,37	+ 0,12	- 0,37	- 4,25	+ 3,88	—
710	—	+ 0,23	24,64	+ 1,35	- 2,93	- 4,28	\pm 0,00	- 0,28	- 4,28	+ 4,00	—
730	—	- 0,31	24,87	- 1,81	- 1,95	- 0,14	+ 0,50	+ 3,86	+ 0,36	+ 3,50	—
750	—	- 0,07	24,56	- 0,41	- 2,34	- 1,93	+ 0,37	+ 2,07	- 1,56	+ 3,63	—
770	—	+ 0,07	24,49	+ 0,41	- 1,95	- 2,36	+ 0,12	+ 1,64	- 2,24	+ 3,88	—
790	—	+ 0,16	24,56	+ 0,94	- 2,15	- 3,09	+ 0,12	+ 0,91	- 2,97	+ 3,88	—
810	—	+ 0,07	24,72	+ 0,41	- 2,34	- 2,75	+ 0,25	+ 1,25	- 2,50	+ 3,75	—
830	—	\pm 0,00	24,79	\pm 0,00	- 2,73	- 2,73	+ 0,25	+ 1,27	- 2,48	+ 3,75	—
850	—	- 0,07	24,79	- 0,41	- 2,34	- 1,93	+ 0,37	+ 2,07	- 1,56	+ 3,63	—
870	—	\pm 0,00	24,72	\pm 0,00	- 2,34	- 2,34	+ 0,37	+ 1,66	- 1,97	+ 3,63	—
890	—	+ 0,07	24,72	+ 0,41	- 2,34	- 2,75	- 0,37	+ 1,25	- 2,38	+ 3,63	—
910	—	\pm 0,00	24,79	\pm 0,00	- 2,34	- 2,34	+ 0,25	+ 1,66	- 2,09	+ 3,75	—
930	—	\pm 0,00	24,79	\pm 0,00	- 2,34	- 2,34	+ 0,12	+ 1,66	- 2,22	+ 3,88	—

Zu Tabelle 9.

100-PS-Argus-Doppeltaube. Lfde. Nr. 24. 5. Juni 1912. $\psi = 4,0^\circ$, $\chi = 2,22^\circ$.

Weg des Papier- bandes mm	End- geschw. eines Abschn. m/sec	P m/sec ²	v m/sec	ν^0	φ'^0	φ^0	γ^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
950	—	+ 0,08	24,87	+ 0,47	- 2,15	- 2,62	+ 0,12	+ 1,38	- 2,50	+ 3,88	—
970	—	+ 0,07	24,94	+ 0,41	- 2,34	- 2,75	+ 0,25	+ 1,25	- 2,50	+ 3,75	—
990	—	+ 0,15	25,09	+ 0,88	- 3,12	- 4,00	+ 0,12	± 0,00	- 3,88	+ 3,88	—
1010	—	+ 0,22	25,31	+ 1,30	- 2,93	- 4,23	+ 0,12	- 0,23	- 4,11	+ 3,88	—
1030	—	+ 0,14	25,45	+ 0,82	- 2,34	- 3,16	+ 0,12	+ 0,84	- 3,04	+ 3,88	—
1050	—	- 0,07	25,38	- 0,41	- 3,71	- 3,30	+ 0,12	+ 0,70	- 3,18	+ 3,88	—
1070	—	± 0,00	25,38	± 0,00	- 3,32	- 3,32	+ 0,12	+ 0,68	- 3,20	+ 3,88	—
1090	—	- 0,14	25,38	- 0,82	- 2,93	- 2,11	+ 0,25	+ 1,89	- 1,86	+ 3,75	—
1110	—	± 0,00	25,24	± 0,00	- 2,73	- 2,73	+ 0,25	+ 1,27	- 2,48	+ 3,75	—
1130	—	- 0,15	25,24	- 0,88	- 1,95	- 1,07	+ 0,12	+ 2,93	- 0,95	+ 3,88	—
1150	—	- 0,15	25,09	- 0,88	- 2,73	- 1,85	+ 0,12	+ 2,15	- 1,73	+ 3,88	—
1170	—	- 0,07	24,94	- 0,41	- 2,54	- 2,13	+ 0,25	+ 1,87	- 1,88	+ 3,75	—
1190	—	- 0,08	24,87	- 0,47	- 2,15	- 1,68	+ 0,25	+ 2,32	- 1,43	+ 3,75	—
1210	—	- 0,15	24,79	- 0,88	- 2,15	- 1,27	+ 0,25	+ 2,73	- 1,02	+ 3,75	—
1230	—	- 0,08	24,64	- 0,47	- 1,76	- 1,29	+ 0,12	+ 2,71	- 1,17	+ 3,88	—
1250	—	± 0,00	24,56	± 0,00	- 1,76	- 1,76	+ 0,12	+ 2,24	- 1,64	+ 3,88	—
1270	—	± 0,00	24,56	± 0,00	- 1,56	- 1,56	± 0,00	+ 2,44	- 1,56	+ 4,00	—
1290	—	- 0,15	24,41	- 0,88	- 1,56	- 0,68	± 0,00	+ 3,32	- 0,68	+ 4,00	—
1310	—	- 0,07	24,41	- 0,41	- 1,76	- 1,35	± 0,00	+ 2,65	- 1,35	+ 4,00	—
1330	—	- 0,08	24,34	- 0,47	- 2,34	- 1,87	- 0,12	+ 2,13	- 1,99	+ 4,12	—
1350	—	+ 0,15	24,26	+ 0,88	- 1,56	- 2,44	- 0,12	+ 1,56	- 2,56	+ 4,12	—
1370	—	+ 0,15	24,41	+ 0,88	- 1,17	- 2,05	- 0,12	+ 1,95	- 2,17	+ 4,12	—
1390	—	- 0,07	24,56	- 0,41	- 2,54	- 2,13	± 0,00	+ 1,87	- 2,13	+ 4,00	—
1410	—	- 0,15	24,49	- 0,88	- 1,95	- 1,07	± 0,00	+ 2,93	- 1,07	+ 4,00	—
1430	—	± 0,00	24,34	± 0,00	- 1,95	- 1,95	± 0,00	+ 2,05	- 1,95	+ 4,00	—
1450	—	- 0,08	24,34	- 0,47	- 1,95	- 1,48	- 0,12	+ 2,52	- 1,60	+ 4,12	—
1470	—	± 0,00	24,26	± 0,00	- 2,15	- 2,15	± 0,00	+ 1,85	- 2,15	+ 4,00	—
1490	—	+ 0,08	24,26	+ 0,47	- 0,98	- 1,45	± 0,00	+ 2,55	- 1,45	+ 4,00	—
1510	—	- 0,08	24,34	- 0,47	- 1,95	- 1,48	± 0,00	+ 2,52	- 1,48	+ 4,00	—
1530	—	- 0,08	24,26	- 0,47	- 1,76	- 1,29	+ 0,12	+ 2,71	- 1,17	+ 3,88	—
1550	—	- 0,15	24,18	- 0,88	- 1,37	- 0,49	± 0,00	+ 3,51	- 0,49	+ 4,00	—
1570	—	- 0,15	24,03	- 0,88	- 0,98	- 0,10	+ 0,12	+ 3,90	+ 0,12	+ 3,88	—
1590	—	± 0,00	23,88	± 0,00	- 1,56	- 1,56	+ 0,25	+ 2,44	- 0,31	+ 3,75	—
1610	—	+ 0,15	23,88	+ 0,88	- 1,37	- 2,25	+ 0,12	+ 1,75	- 2,13	+ 3,88	—
1630	—	+ 0,31	24,03	+ 1,81	- 0,78	- 2,59	± 0,00	+ 1,41	- 2,59	+ 4,00	—
1650	—	+ 0,07	24,34	+ 0,41	- 2,34	- 2,75	- 0,12	+ 1,25	- 2,87	+ 4,12	—
1670	—	- 0,15	24,41	- 0,88	- 2,54	- 1,66	+ 0,12	+ 2,34	- 1,54	+ 3,88	—
1690	—	± 0,00	24,26	± 0,00	- 1,95	- 1,95	+ 0,25	+ 2,05	- 1,70	+ 3,75	—
1710	—	+ 0,23	24,26	+ 1,35	- 1,56	- 2,91	+ 0,12	+ 1,09	- 2,79	+ 3,88	—
1730	—	+ 0,07	24,49	+ 0,41	- 2,54	- 2,95	+ 0,12	+ 1,05	- 2,83	+ 3,88	—
1750	—	+ 0,16	24,56	+ 0,94	- 1,95	- 2,89	+ 0,12	+ 1,11	- 2,77	+ 3,88	—
1770	—	± 0,00	24,72	± 0,00	- 2,73	- 2,73	+ 0,12	+ 1,27	- 2,61	+ 3,88	—
1790	—	+ 0,07	24,72	+ 0,41	- 2,54	- 2,95	+ 0,12	+ 1,05	- 2,83	+ 3,88	—
1810	—	± 0,00	24,79	± 0,00	- 2,34	- 2,34	+ 0,25	+ 1,66	- 2,09	+ 3,75	—
1830	—	+ 0,08	24,79	+ 0,47	- 2,54	- 3,01	+ 0,25	+ 0,99	- 2,76	+ 3,75	—
1850	—	± 0,00	24,87	± 0,00	- 2,73	- 2,73	+ 0,25	+ 1,27	- 2,48	+ 3,75	—
1870	—	+ 0,07	24,87	+ 0,41	- 2,15	- 2,56	+ 0,12	+ 1,44	- 2,44	+ 3,88	—
1890	—	- 0,15	24,94	- 0,88	- 2,93	- 2,07	± 0,00	+ 1,93	- 2,07	+ 4,00	—
1910	—	- 0,07	24,79	- 0,41	- 2,34	- 1,93	+ 0,12	+ 2,07	- 1,81	+ 3,88	—
1930	—	+ 0,15	24,72	+ 0,88	- 2,34	- 3,22	+ 0,12	+ 0,78	- 3,10	+ 3,88	—
1950	—	± 0,00	24,87	± 0,00	- 2,93	- 2,93	+ 0,25	+ 1,07	- 2,68	+ 3,75	—
1970	—	± 0,00	24,87	± 0,00	- 2,15	- 2,15	+ 0,25	+ 1,85	- 1,90	+ 3,75	—
1990	—	- 0,15	24,87	- 0,88	- 2,15	- 1,27	+ 0,12	+ 2,73	- 1,15	+ 3,88	—
2010	—	- 0,08	24,72	- 0,47	- 2,93	- 2,46	+ 0,25	+ 1,54	- 2,21	+ 3,75	—
2030	—	± 0,00	24,64	± 0,00	- 2,34	- 2,34	+ 0,37	+ 1,66	- 1,97	+ 3,63	—
2050	—	± 0,00	24,64	± 0,00	- 1,95	- 1,95	+ 0,25	+ 2,05	- 1,70	+ 3,75	—
2070	—	- 0,08	24,64	- 0,47	- 1,95	- 1,48	+ 0,37	+ 2,52	- 1,11	+ 3,63	—

Zu Tabelle 9.

100-PS-Argus-Doppeltaube. Lfde. Nr. 24. 5. Juni 1912. $\psi = 4,0^\circ$, $\chi = 2,22^\circ$.

Weg des Papierbandes mm	Endgeschw. eines Abschn. m/sec	p m/sec ²	v m/sec	γ_0	φ°	φ^0	γ_0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
2090	—	± 0,00	24,56	± 0,00	-1,76	-1,76	+ 0,37	+ 2,24	-1,39	+ 3,63	—
2110	—	-0,07	24,49	-0,41	-1,95	-1,54	+ 0,12	+ 2,46	-1,42	+ 3,88	—
2130	—	-0,08	24,41	-0,47	-1,76	-1,29	+ 0,12	+ 2,71	-1,17	+ 3,88	—
2150	—	+ 0,08	24,49	+ 0,47	-1,56	-2,03	± 0,00	+ 1,97	-2,03	+ 4,00	—
2170	—	+ 0,15	24,64	+ 0,88	-1,56	-2,44	+ 0,12	+ 1,56	-2,32	+ 3,88	—
2190	—	-0,08	24,49	-0,47	-1,95	-1,48	+ 0,12	+ 2,52	-1,36	+ 3,88	—
2210	—	-0,07	24,56	-0,41	-1,95	-1,54	+ 0,12	+ 2,46	-1,42	+ 3,88	—
2230	—	± 0,00	24,49	± 0,00	-1,76	-1,76	± 0,00	+ 2,24	-1,76	+ 4,00	—
2250	—	+ 0,07	24,49	+ 0,41	-1,76	-2,17	± 0,00	+ 1,83	-2,17	+ 4,00	—
2270	—	-0,07	24,56	-0,41	-1,95	-1,54	-0,12	+ 2,46	-1,66	+ 4,12	—
2290	—	-0,31	24,49	-1,81	-1,37	+ 0,44	-0,12	+ 4,44	+ 0,32	+ 4,12	—
2310	—	-0,07	24,18	-0,41	-1,37	-0,96	-0,12	+ 3,04	-1,08	+ 4,12	—
2330	—	+ 0,07	24,11	+ 0,41	-1,37	-1,78	-0,12	+ 2,22	-1,90	+ 4,12	—
2350	—	+ 0,23	24,18	+ 1,36	-2,34	-3,70	-0,12	+ 0,30	-3,82	+ 4,12	—
2370	—	+ 0,23	24,41	+ 1,36	-1,56	-2,92	± 0,00	+ 1,08	-2,92	+ 4,00	—
2390	—	-0,08	24,64	-0,47	-2,15	-1,68	± 0,00	+ 2,32	-1,68	+ 4,00	—
2410	—	± 0,00	24,56	± 0,00	-2,34	-2,34	± 0,00	+ 1,66	-2,34	+ 4,00	—
2430	—	± 0,00	24,56	± 0,00	-2,54	-2,54	+ 0,25	+ 1,46	-2,29	+ 3,75	—
2450	—	+ 0,08	24,56	+ 0,47	-2,15	-2,62	+ 0,37	+ 1,38	-2,25	+ 3,63	—
2470	—	+ 0,08	24,64	+ 0,47	-2,93	-3,40	+ 0,25	+ 0,60	-3,15	+ 3,75	—
2490	—	± 0,00	24,72	± 0,00	-2,34	-2,34	+ 0,25	+ 1,66	-2,09	+ 3,75	—
2510	—	-0,08	24,72	-0,47	-2,34	-1,87	+ 0,25	+ 2,13	-1,62	+ 3,75	—
2530	—	+ 0,15	24,64	+ 0,88	-2,15	-3,03	+ 0,12	+ 0,97	-2,91	+ 3,88	—
2550	—	+ 0,22	24,79	+ 1,30	-2,73	-4,03	+ 0,25	-0,03	-3,78	+ 3,75	—
2570	—	-0,07	25,01	-0,41	-2,54	-2,13	+ 0,25	+ 1,87	-1,88	+ 3,75	—
2590	—	+ 0,07	24,94	+ 0,41	-2,34	-2,75	+ 0,12	+ 1,25	-2,63	+ 3,88	—
2610	—	-0,07	25,01	-0,41	-2,15	-1,74	+ 0,12	+ 2,26	-1,62	+ 3,88	—
2630	—	+ 0,07	24,94	+ 0,41	-3,71	-4,12	± 0,00	-0,12	-4,12	+ 4,00	—
2650	—	+ 0,30	25,01	+ 1,76	-1,95	-3,71	± 0,00	+ 0,24	-3,71	+ 4,00	—
2670	—		25,31								—

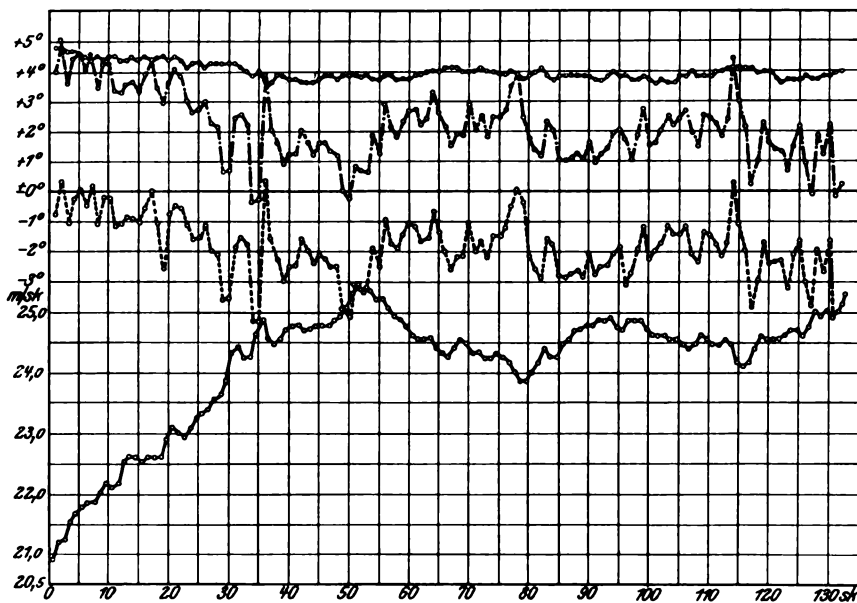


Abb. 30. 100-PS-Argus-Doppeltaube (lfde. Nr. 24), 5. Juni 1912.

4*

Tabelle 10.

100-PS-Argus-Doppeltaube. Lfde. Nr. 25. 5. Juni 1912. $\psi = 4,0^\circ$, $\chi = 2,22^\circ$.

Weg des Papierbandes mm	Endgeschw. eines Abschn. m/sec	P m/sec ²	v m/sec	ν°	φ'°	φ°	γ°	α°	β°	$\alpha^\circ - \beta^\circ$	Reihenfolge
300	21,81	+ 0,034	21,76	+ 0,20	+ 1,64	+ 1,44	- 0,79	+ 5,44	+ 0,65	+ 4,79	1
600	22,32	+ 0,089	23,19	+ 0,52	- 0,82	- 1,34	- 0,30	+ 2,66	- 1,64	+ 4,30	3
900	23,66	- 0,009	23,75	- 0,05	- 1,12	- 1,07	- 0,17	+ 2,93	- 1,24	+ 4,17	5
1200	23,52	+ 0,047	23,77	+ 0,28	- 1,15	- 1,43	- 0,30	+ 2,57	- 1,73	+ 4,30	6
1500	24,23	- 0,023	24,03	- 0,14	- 1,70	- 1,56	- 0,10	+ 2,44	- 1,66	+ 4,10	7
1800	23,88	+ 0,067	24,20	+ 0,39	- 1,97	- 2,36	- 0,03	+ 1,64	- 2,39	+ 4,03	8
2100	24,88	+ 0,051	25,45	+ 0,30	- 3,47	- 3,77	+ 0,24	+ 0,23	- 3,53	+ 3,76	27
2400	25,64	+ 0,004	25,44	+ 0,02	- 3,18	- 3,20	+ 0,13	+ 0,80	- 3,07	+ 3,87	26
2700	25,70	+ 0,027	25,94	+ 0,16	- 3,80	- 3,96	+ 0,30	+ 0,04	- 3,66	+ 3,70	29
3000	26,11	- 0,041	25,83	- 0,24	- 3,73	- 3,49	+ 0,35	+ 0,51	- 3,14	+ 3,65	28
3300	25,50	- 0,036	25,19	- 0,21	- 2,61	- 2,40	+ 0,11	+ 1,60	- 2,29	+ 3,89	23
3600	24,96	- 0,011	24,85	- 0,06	- 2,61	- 2,55	+ 0,10	+ 1,45	- 2,45	+ 3,90	18
3900	24,80	- 0,009	24,84	- 0,05	- 2,56	- 2,56	+ 0,10	+ 1,44	- 2,46	+ 3,90	17
4200	24,66	+ 0,009	24,74	+ 0,05	- 2,45	- 2,50	+ 0,10	+ 1,50	- 2,40	+ 3,90	16
4500	24,80	- 0,014	24,60	- 0,08	- 1,98	- 1,90	+ 0,06	+ 2,10	- 1,84	+ 3,94	12
4800	24,59	+ 0,019	24,69	+ 0,11	- 2,21	- 2,32	- 0,13	+ 1,68	- 2,45	+ 4,13	14
5100	24,88	+ 0,021	24,98	+ 0,12	- 2,69	- 2,81	$\pm 0,00$	+ 1,19	- 2,81	+ 4,00	21
5400	25,19	+ 0,005	25,28	+ 0,03	- 3,15	- 3,18	+ 0,24	+ 0,82	- 2,94	+ 3,76	24
5700	25,27	- 0,041	24,94	- 0,24	- 2,44	- 2,20	+ 0,15	+ 1,80	- 2,05	+ 3,85	20
6000	24,66	+ 0,065	25,37	+ 0,38	- 2,96	- 3,34	+ 0,21	+ 0,66	- 3,13	+ 3,79	25
6000	25,64										

Mittelwerte | 24,98 | — | — | — | — | + 1,34 | - 2,52 | + 3,86 |
 (Lfde. Nr. 24 aus Papierbandstrecke 900—2640; Nr. 25 aus Papierbandstrecke 2100—6000.)

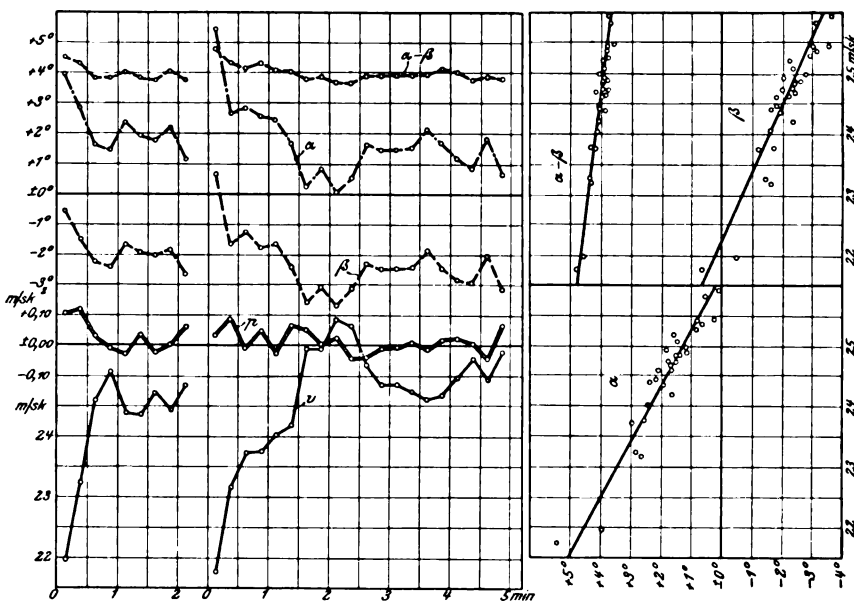


Abb. 31. 100-PS-Argus-Doppeltaube (lfde. Nr. 24, 25), 5. Juni 1912.

Tabelle 11.

100-PS-Argus-Doppeltaube. Lfde. Nr. 26. 6. Juni 1912. $\psi = 4,0^\circ$, $\chi = 2,22^\circ$.

Weg des Papierbandes mm	Endgeschw. eines Abschn. m/sec	P m/sec ²	v m/sec	ν^0	φ^0	φ^0	η^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
300	22,92	- 0,106	22,20	- 0,62	+ 2,45	+ 3,07	- 1,03	+ 7,07	+ 2,04	+ 5,03	2
600	21,33	+ 0,143	22,68	+ 0,84	+ 0,77	- 0,07	- 0,67	+ 3,93	- 0,74	+ 4,67	3
900	23,48	+ 0,042	23,84	+ 0,25	- 0,48	- 0,73	- 0,28	+ 3,27	- 1,01	+ 4,28	7
1200	24,11	- 0,005	23,90	- 0,03	- 0,68	- 0,65	- 0,29	+ 3,35	- 0,94	+ 4,29	8
1500	24,03	+ 0,031	24,17	+ 0,18	- 0,73	- 0,91	- 0,48	+ 3,09	- 1,39	+ 4,48	9
1800	24,49	+ 0,055	25,08	+ 0,32	- 1,98	- 2,30	- 0,14	+ 1,70	- 2,44	+ 4,14	18
2100	25,31	+ 0,015	25,54	+ 0,09	- 2,41	- 2,50	+ 0,06	+ 1,50	- 2,44	+ 3,94	27
2400	25,53	+ 0,024	25,82	+ 0,14	- 2,72	- 2,86	+ 0,10	+ 1,14	- 2,76	+ 3,90	31
2700	25,89	+ 0,019	25,68	- 0,11	- 2,18	- 2,07	- 0,08	+ 1,93	- 2,15	+ 4,08	30
3000	25,60	- 0,039	25,30	- 0,23	- 1,59	- 1,36	- 0,19	+ 2,64	- 1,55	+ 4,19	22
3300	25,01	- 0,009	24,78	- 0,05	- 1,40	- 1,35	- 0,12	+ 2,65	- 1,47	+ 4,12	13
3600	24,87	+ 0,039	25,30	+ 0,23	- 2,18	- 2,41	+ 0,04	+ 1,59	- 2,37	+ 3,96	23
3900	25,45	- 0,044	25,11	- 0,25	- 1,31	- 1,06	- 0,15	+ 2,94	- 1,21	+ 4,15	19
4200	24,79	+ 0,069	24,89	+ 0,40	- 2,11	- 2,51	- 0,20	+ 1,49	- 2,71	+ 4,20	15
4500	25,82	- 0,005	25,96	- 0,03	- 2,96	- 2,93	+ 0,08	+ 1,07	- 2,85	+ 3,92	32
4800	25,74	- 0,019	25,63	- 0,11	- 2,37	- 2,26	+ 0,05	+ 1,74	- 2,21	+ 3,95	29
5100	25,45	- 0,005	25,35	- 0,03	- 1,93	- 1,90	- 0,09	+ 2,10	- 1,99	+ 4,09	25
5400	25,38	- 0,034	25,11	- 0,20	- 1,41	- 1,21	- 0,21	+ 2,79	- 1,42	+ 4,21	20
5700	24,87	+ 0,015	25,06	+ 0,09	- 1,62	- 1,71	- 0,22	+ 2,29	- 1,93	+ 4,22	16
6000	25,09	+ 0,015	25,32	+ 0,09	- 2,11	- 2,20	- 0,19	- 1,80	- 2,39	+ 4,19	24

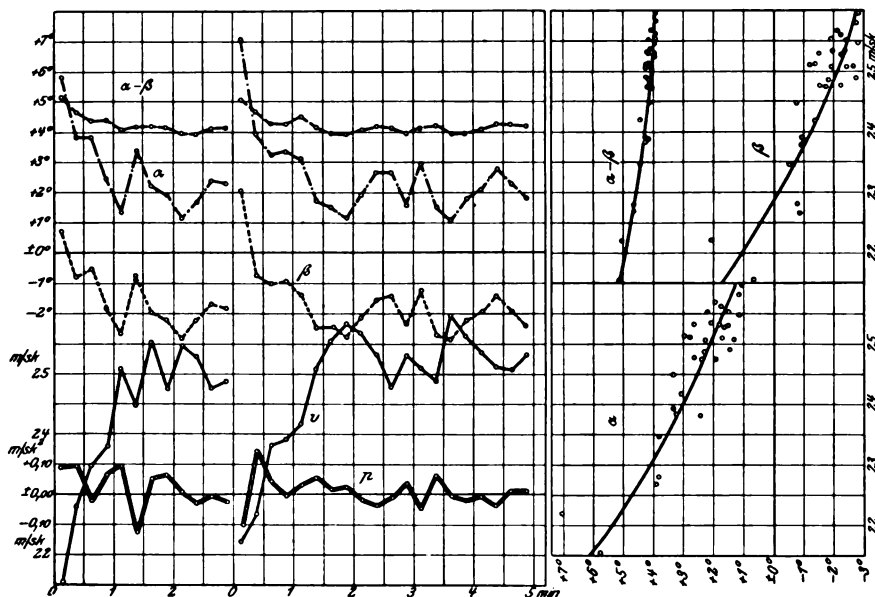


Abb. 32. 100-PS-Argus-Doppeltaube (lfde. Nr. 28 und 26. 6. Juni 1912).

Tabelle 12.

100-PS-Argus-Doppeltaube. Lfde. Nr. 28. 6. Juni 1912. $\psi = 4,0^\circ$, $\chi = 2,22^\circ$.

Weg des Papierbandes	Endgeschw. eines Abschn.	P	v	ν^0	φ'^0	φ^0	η^0	α^0	β^0	$\alpha^0 - \beta^0$	Reihenfolge
mm	m/sec	m/sec ²	m/sec								
300	20,89	+ 0,086	21,55	+ 0,50	+ 2,30	+ 1,80	- 1,11	+ 5,80	+ 0,69	+ 5,11	1
600	22,18	+ 0,092	22,80	+ 0,54	+ 0,36	- 0,18	- 0,62	+ 3,82	- 0,80	+ 4,62	4
900	23,56	- 0,021	23,47	- 0,12	- 0,31	- 0,19	- 0,34	+ 3,81	- 0,53	+ 4,34	5
1200	23,25	+ 0,063	23,80	+ 0,37	- 1,19	- 1,56	- 0,38	+ 2,44	- 1,94	+ 4,38	6
1500	24,18	+ 0,095	25,07	+ 0,55	- 2,10	- 2,65	- 0,04	+ 1,35	- 2,69	+ 4,04	17
1800	25,60	- 0,125	24,49	- 0,73	- 1,35	- 0,62	- 0,14	+ 3,38	- 0,76	+ 4,14	10
2100	23,72	+ 0,051	25,54	+ 0,30	- 1,49	- 1,79	- 0,19	+ 2,21	- 1,98	+ 4,19	28
2400	24,49	+ 0,064	24,75	+ 0,37	- 1,71	- 2,08	- 0,17	+ 1,92	- 2,25	+ 4,17	11
2700	25,45	+ 0,005	25,47	+ 0,03	- 2,83	- 2,86	+ 0,03	+ 1,14	- 2,83	+ 3,97	26
3000	25,53	- 0,029	25,29	- 0,17	- 2,49	- 2,32	+ 0,05	+ 1,68	- 2,27	+ 3,95	21
3300	25,09	- 0,005	24,75	- 0,03	- 1,64	- 1,61	- 0,10	+ 2,39	- 1,71	+ 4,10	12
3600	25,01	- 0,025	24,86	- 0,14	- 1,84	- 1,70	- 0,13	+ 2,30	- 1,83	+ 4,13	14
3600	24,64	- 0,025	24,86	- 0,14	- 1,84	- 1,70	- 0,13	+ 2,30	- 1,83	+ 4,13	14

Mittelwerte | 25,21 | — | — | — | — | + 1,99 | - 2,09 | + 4,08 |

(lfde. Nr. 26, aus Papierbandweg 1800—6000; lfde. Nr. 28, aus Papierbandweg 1500—3600).

Tabelle 13.

Auftriebs- und Widerstandskoeffizienten.

$\zeta_A = \frac{G \cdot g}{F \cdot \gamma \cdot v^2}$	$\zeta_W = \frac{\eta \cdot L \cdot g}{F \cdot \gamma \cdot v^3}$	50-PS-Mercedes	50-PS-Gnom-Spezialtyp	50-PS-Gnom	100-PS-Argus-Doppeltaube
Gesamtgewicht G kg		645	430	645	$\left(\begin{matrix} 810 \\ 735 \\ 800 \end{matrix} \right)^{1) 2) 3)}$
Motorleistung mkg/sec		3375	—	3000	7500
Propellerwirkungsgrad η		0,5	0,5	0,5	0,5
β^0 m		- 1,74	- 0,48	- 2,70	$\left(\begin{matrix} - 1,68 \\ - 2,52 \\ - 2,09 \end{matrix} \right)^{1) 2) 3)}$
χ^0		+ 2,70	+ 0,50	+ 2,70	+ 2,22
β^0 m + χ^0		+ 0,96	+ 0,02	$\pm 0,00$	$\left(\begin{matrix} + 0,54 \\ - 0,30 \\ + 0,13 \end{matrix} \right)^{1) 2) 3)}$

v	50-PS-Mercedes. Lfde. Nr. 9 21. 3. 1912				50-PS-Gnom-Spezialtyp. Lfd. Nr. 11, 14. 3., 6. 5. 1912			50-PS-Gnom. Lfde. Nr. 20 21. 5. 1912			
	ζ_A	ζ_W	$\alpha^0 - \beta^0$	i^0	ζ_A	$\alpha^0 - \beta^0$	i^0	ζ_A	ζ_W	$\alpha^0 - \beta^0$	i^0
15,0	—	—	—	—	0,513	+ 8,41	+ 8,43	—	—	—	—
15,5	—	—	—	—	0,482	+ 7,65	+ 7,67	—	—	—	—
16,0	—	—	—	—	0,452	+ 6,90	+ 6,92	—	—	—	—
16,5	0,375	0,059	+ 5,11	+ 6,07	0,425	+ 6,30	+ 6,32	0,375	0,052	+ 6,45	+ 6,45
17,0	0,353	0,054	+ 4,80	+ 5,76	0,400	+ 5,68	+ 5,70	0,353	0,048	+ 6,00	+ 6,00
17,5	0,333	0,050	+ 4,26	+ 5,22	0,379	+ 5,25	+ 5,27	0,333	0,044	+ 5,66	+ 5,66
18,0	0,315	0,046	+ 3,85	+ 4,81	0,356	+ 4,85	+ 4,87	0,315	0,041	+ 5,40	+ 5,40
18,5	0,298	0,042	+ 3,40	+ 4,36	—	—	—	0,298	0,038	+ 5,16	+ 5,16
19,0	—	—	—	—	—	—	—	0,283	0,034	+ 5,00	+ 5,00

1) Lfde. Nr. 23. 5. 6. 1912.

2) Lfde. Nr. 24, 25. 5. 6. 1912.

3) Lfde. Nr. 26, 28. 6. 6. 1912.

100-PS-Argus - Doppeltaube.

v m/sec	ζ_w	Lfde. Nr. 23			Lfde. Nr. 24 und 25			Lfde. Nr. 26 und 28		
		ζ_A	$\alpha^0 - \beta^0$	i^0	ζ_A	$\alpha^0 - \beta^0$	i^0	ζ_A	$\alpha^0 - \beta^0$	i^0
21,0	0,088	0,400	+ 5,82	+ 6,36	—	—	—	—	—	—
21,5	0,082	0,382	+ 5,60	+ 6,14	0,347	+ 4,74	+ 4,44	0,378	+ 5,10	+ 5,23
22,0	0,077	0,365	+ 5,35	+ 5,89	0,331	+ 4,62	+ 4,32	0,361	+ 4,90	+ 5,03
22,5	0,072	0,348	+ 5,14	+ 5,68	0,317	+ 4,50	+ 4,20	0,345	+ 4,73	+ 4,86
23,0	0,067	0,333	+ 4,95	+ 5,49	0,303	+ 4,37	+ 4,07	0,330	+ 4,58	+ 4,71
23,5	0,063	0,319	+ 4,80	+ 5,34	0,290	+ 5,25	+ 3,95	0,316	+ 4,43	+ 4,56
24,0	0,059	0,306	+ 4,62	+ 5,16	0,278	+ 4,13	+ 3,83	0,303	+ 4,30	+ 4,43
24,5	0,056	0,294	+ 4,49	+ 5,03	0,267	+ 4,00	+ 3,70	0,291	+ 4,19	+ 4,32
25,0	0,052	0,282	+ 4,37	+ 4,91	0,256	+ 3,86	+ 3,56	0,279	+ 4,08	+ 4,21
25,5	0,049	—	—	—	0,246	+ 3,72	+ 3,42	0,268	+ 4,01	+ 4,14
26,0	0,046	—	—	—	0,237	+ 3,60	+ 3,30	0,258	+ 3,94	+ 4,07

Ein Vergleich der bei den einzelnen Flugzeugen gewonnenen ζ_A -Kurven zeigt, daß die Kurve für den 50-PS-Gnom-Spezialtyp am höchsten liegt. Etwas tiefer kommt die Kurve des 50-PS-Mercedes, ihr folgt diejenige der 100-PS-Argus-Doppeltaube und gleichzeitig mit dieser diejenige des 50-PS-Gnom.

Die Zeichnung der Querschnitte (Abb. 19) läßt erkennen, daß sich dieselben ihrem Wölbungspfeil nach in folgende Reihenfolge bringen lassen. An erster Stelle steht der 50-PS-Gnom-Spezialtyp mit $1/19$ Pfeil, ihm schließen sich an der 50-PS-Mercedes, dessen Kurve nach hinten zu etwas aufgewölbt ist, mit $1/20,7$, der 50-PS-Gnom mit $1/24,4$ und endlich die 100-PS-Argus-Doppeltaube mit $1/31,3$ Pfeil.

Das Gesetz, daß der Auftrieb von gewölbten Flächen mit ihrer Durchwölbung wächst, wird durch die den Pfeilhöhen entsprechend abgestuften ζ_A -Kurven bestätigt. Allerdings liegt die Kurve für die 100-PS-Argus-Doppeltaube günstiger, als dieser Forderung allein entsprechen würde, sie kommt der Höhe der Kurve des 50-PS-Gnom etwa gleich. Das Flächenprofil der 100-PS-Argus-Doppeltaube ist nach hinten zu stark geschärft. Es ist anzunehmen, daß damit seine Güte verbessert wurde.

Für die ζ_w -Kurven würde sich ein ähnlicher Vergleich aufstellen lassen, wenn er durch genauere Kenntnis der Motorleistung gerechtfertigt wäre und nicht noch die ζ_w -Werte die Widerstände des Gerippes usw. enthielten.

Es zeigt sich, daß die ζ_w -Kurven in etwa doppelter Höhe über den an Modellflächenkurven liegen, was bedeutet, daß eine Größengleichheit zwischen aerodynamischem und schädlichem Widerstand besteht.

Eiffel hat an seinen Modellen von Flugzeugen eine entsprechende Beobachtung gemacht.

V. Zusammenfassung und Ausblick.

Die verschiedenen Ergebnisse der geschilderten Messungen an Flugzeugen lassen sich in wenigen Zügen zusammenfassen.

Etwas unbedingt Neues wurde durch die Versuche nicht aufgedeckt, wohl aber wurde manche Erfahrung des ausübenden Fliegers bestätigt, und für den Flugzeugerbauer Instrumente ausprobiert, welche ihn befähigen, mit guter Sicherheit

den aerodynamischen Wert seiner Bauart zu erkennen und mit anderen Flugzeugen zu vergleichen.

Ein Beharrungszustand im Fluge, welcher für die Verhältnisse in wagerechter Fahrt gelten könnte, wurde bei keinem der Flugzeuge erreicht. Den Führern fehlte ein Anhalt, nach welchem sie ihr Flugzeug in gleichbleibender Höhe hätten steuern können. Das Gefühl für die Höhe allein reichte keineswegs aus.

Nachdem die vorliegenden Versuche abgeschlossen und ausgewertet waren, erschienen Veröffentlichungen¹⁾ über ähnliche Versuche an Flugzeugen, ausgeführt von der englischen Royal Aircraft Factory. Die dort wiedergegebenen Geschwindigkeits-Zeitdiagramme einzelner Flüge zeigen genau dasselbe Verhalten, wie es aus den hier beschriebenen Originalkurven und den daraus errechneten Kurven zu ersehen war. Auch dort wurde kein Beharrungszustand im Fluge erreicht, da das Flugzeug ständig seine Geschwindigkeit wechselte.

Es wäre denkbar, daß mit Hilfe eines sehr empfindlichen Barometers oder eines guten Geschwindigkeitszeigers der Führer eine genau gerichtete Fahrt einzuhalten vermag. Aus Führerkreisen wurde schon häufig der Wunsch für solche Instrumente laut, doch die Schwierigkeiten für den Bau eines zuverlässigen Geschwindigkeitszeigers wurden bisher noch nicht überwunden.

Der Flugzeugführer besitzt durch einen Geschwindigkeitszeiger ein treffliches Mittel, um das Flugzeug mit der geeignetsten Geschwindigkeit zu steuern, ferner, um Geschwindigkeitsbereiche, die für das Flugzeug gefährlich werden können, sei es während des Aufsteigens oder während des Absteigens, zu vermeiden.

Leider wird sich eine Druckscheibe, trotz ihrer so einfachen Bauart, in den meisten Fällen zu einem Geschwindigkeitszeiger wenig eignen können, da sie in der Nähe des Führersitzes angebracht die Geschwindigkeit ungenau anzeigen wird. Andere Instrumente, z. B. die Pitotröhre, würden sich eher eignen, wenn sie zulassen, daß Instrument und Anzeigevorrichtung räumlich getrennt voneinander aufgestellt werden können.

Erhebliche Windstöße auf das Flugzeug, von Unregelmäßigkeiten in der Luft herrührend, wurden nur während eines Versuchsfluges festgestellt und haben die beträchtliche Größe und den schnellen Wechsel solcher Böen gezeigt. Der Flugzeugbauer erhält durch solche Flüge wertvolle Messungen, nach welchen er die Beanspruchungen, denen ein Flugzeug vielfach ausgesetzt ist, zu beurteilen in der Lage ist. Dieser eine Böenflug mußte ein zufälliges Ergebnis der Versuche bleiben, da es wegen der beschränkten Versuchsmittel nicht zugänglich war, besondere Sturmflüge durchzuführen. Meßvorrichtungen für solche Untersuchungen müssen bei guter Dämpfung doch leicht folgend und nicht träge sein. Die Druckscheibe und die horizontale Windfahne haben dieser Forderung entsprochen, nicht aber das Pendel, das schon bei geringen Geschwindigkeitsschwankungen niemals genügend zur Ruhe gekommen ist. Ein empfindlicher Barograph wird an Stelle des Pendels gute Aufschlüsse bringen können, namentlich aber auch die sehr gefürchteten vertikalen Böen in ihrer Größe erkennen lassen. In diesen Fällen ist es notwendig, daß auf eine etwaige Abweichung der relativen Luftströmung, durch die Tragfläche

¹⁾ Technical Report of the Advisory Committee for Aeronautics 1911/12.

hervorgerufen, mit Hilfe eines Instrumentes zur Bestimmung der horizontalen Richtung an der Meßstelle geprüft wird. Mit Windfahnen und Barometer lassen sich dann durch Umrechnung ihrer Angaben die Winkelgrößen bestimmen.

Eine richtig geleitete Flugzeugwerkstatt verspricht sich von einer neu auf den Markt gebrachten Flugzeugart nur dann Erfolg, wenn sie für das gute aerodynamische Verhalten des Flugzeuges bürgen kann. Leider ist dies häufig nicht der Fall. Ein kräftiger Motor muß erhalten und das wieder gut machen, was am Flugzeug selbst verbaut wurde.

In dieser Arbeit wurde gezeigt, wie die Trageigenschaften der Flugzeugflächen festgestellt werden können. Daß dies nur mit einer gewissen Annäherung geschah, lag daran, daß von der Umständlichkeit einer jedesmaligen Flugzeugwägung abgesehen wurde.

Der Widerstand, den ein Flugzeug im ganzen besitzt, ist mit dem Schraubenzug übereinstimmend. Er könnte hier nur mit recht geringer Genauigkeit abgeschätzt werden. Die Schaffung eines Zugmessers, der schnell in ein Flugzeug einzubauen ist, wäre für seine Bestimmung erforderlich. Erst dann ist es möglich, auch über die Widerstandsgrößen eines Flugzeuges Bestimmtes auszusagen. Die Vermutung liegt nahe, daß dann noch weit größerer Wert auf Vermeidung schädlicher Widerstände gelegt wird, als es jetzt der Fall ist. Der Abnehmer von Flugzeugen besitzt durch solche Messungen ein Mittel, um verlangte Eigenschaften des gekauften Flugzeuges nachzuprüfen. Der Verkäufer hingegen kann sich außerdem durch sie einen Beleg verschaffen, nach welchem er den Nachweis guter Bauart darzulegen imstande ist.

Bei allen Untersuchungen ist die einschneidende Frage der Flugzeugstabilität außer acht gelassen worden. Die Vorzüglichkeit der Tragflächen allein kann und darf aber kein Maßstab für die Brauchbarkeit eines Flugzeuges sein; denn Mittel zur Erreichung guter Stabilität, wie geeignete Verteilung und Gestaltung von Trag-, Richt- und Steuerflächen, können sehr wohl das Verhältnis vom Widerstand zum Auftrieb einer Tragfläche vergrößern.

Die Erforschung der Flugzeugstabilität bleibt ausgedehnten und gut vorbereiteten Versuchen vorbehalten. Eine weit größere Anzahl von Instrumenten wird hierfür erforderlich, als sie für die Bestimmung der Eigengeschwindigkeit und der Flugwinkel eines Flugzeugs gerade ausreichend war.

Ein einwandfreier Maßstab für den Wert eines Flugzeugs wird erst dann geschaffen sein, wenn es gelingt, Längs- und Seitenstabilität, die Steuerfähigkeit, die Trag- und Widerstandseigenschaften durch Versuchsflüge zu bestimmen.

Die verschiedenen Staaten, welche für große Flugzeugaufträge Abnahmebedingungen vorgeschrieben haben, halten sich bis jetzt mit Recht ausschließlich an die praktische Verwertbarkeit eines Flugzeuges. Ein durchaus schlechtes Flugzeug wird solchen Bedingungen wohl kaum entsprechen können; daß sie zu führen sind, namentlich dann, wenn der Motor gut ist, wird durch die Prüfung erwiesen. Der längere Gebrauch nachher aber wird entscheiden, welche Stabilitätsvorzüge die Bauart hat. Diese zu ergründen, ist bisher dem Empfinden und der Liebhaberei der einzelnen Flugzeugführer überlassen gewesen. Welche Vorzüge eine systematische Stabilitätsprüfung für solche Abnahmen haben wird, liegt klar zutage.

Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke)
Berlin und Bernau.

Luftfahrt und Wissenschaft.

In freier Folge herausgegeben

von

Joseph Sticker.

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:

Professor **A. Berson,**

Dipl.-Ing. **C. Eberhardt,**

Gerichtsassessor **J. Sticker,**

Professor Dr. **R. Süring,**

Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr. **H. Zimmermann.**

Bisher erschienen:

1. Heft: **Luftfahrtrecht.** Von Dr. jur. **Josef Kohler**, Geh. Justizrat, ordentlicher Professor der Rechte an der Universität Berlin. VI und 45 Seiten. Preis M. 1,20. (Stiftung des Kaiserlichen Aero-Clubs, Berlin.)
2. Heft: **Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Lufterlektrizität.** Von Dr. **M. Dieckmann**, Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Kgl. Technischen Hochschule München. 1. Teil: **Die Empfangsstörung.** VIII und 73 Seiten. Mit 56 Abbildungen. Preis M. 3,—. (Stiftung des Berliner Vereins für Luftschiffahrt, Berlin.)
3. Heft: **Zur Physiologie und Hygiene der Luftfahrt.** Von Dr. med. **N. Zuntz**, Geh. Regierungsrat, Professor der Physiologie an der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin. V und 67 Seiten. Mit 11 Textfiguren. Preis M. 2,—. (Stiftung des Magdeburger Vereins für Luftschiffahrt, Magdeburg.)
4. Heft: **Stoffdehnung und Formänderung der Hülle von Prall-Luftschiffen.** Untersuchungen im Luftschiffbau der Siemens-Schuckert-Werke. Von Dr.-Ing. **Rudolf Haas** und Dipl.-Schiffbauingenieur **Alexander Dietzius**, Privatdozent für Luftschiffbau an der Königl. Technischen Hochschule zu Berlin. IX und 134 Seiten. Mit 138 Textfiguren. Preis M. 6,—.
5. Heft: **Die Erforschung des tropischen Luftozeans in Niederländisch-Ost-Indien.** Von Dr. **W. van Bemmelen**, Direktor des Königl. Magnetischen und Meteorologischen Observatoriums in Batavia. VII und 50 Seiten. Mit 13 Textfiguren. Preis M. 2,40. (Stiftung G. v. H.-Ryssen, Holland.)
6. Heft: **Versuche an Doppeldeckern zur Bestimmung ihrer Eigengeschwindigkeit und Flugwinkel.** Von Dr.-Ing. **Wilhelm Hoff**, Leiter der Flugzeugabteilung der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V. in Berlin-Adlershof. V und 57 Seiten. Mit 32 Abbildungen. Preis M. 4,—. (Stiftung des „Vogtländischen Vereins für Luftschiffahrt“, Plauen i. V.)

Demnächst erscheinen:

Tabellen zur astronomischen Ortsbestimmung. Von Dr. **A. Kohlshütter**, Astronom am Mt. Wilson Solar Observatory, Pasadena, Cal.

Die Querschnittsformen der Vogelflügel und ihre Verwertung für Luftschrauben. Von Dipl.-Ing. **C. Eberhardt**, Ingenieur beim Luftschiffer-Bataillon, Berlin.

Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Lufterlektrizität. Von Dr. **M. Dieckmann**, Privatdozent für reine und angewandte Physik an der Kgl. Techn. Hochschule München. 2. Teil: **Die Reichweitenänderung.**

Die Untersuchung der Flugzeug- und Luftschiff-Maschinen. Von Professor **A. Wagener**, Leiter des Maschinen-technischen Laboratoriums der Kgl. Techn. Hochschule Danzig.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

BOUND

JAN 19 1925

**UNIV. OF MICH.
LIBRARY**



