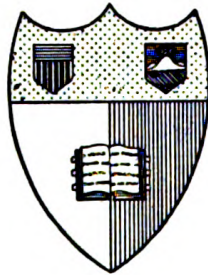
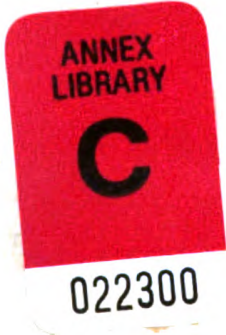


CORNELL UNIVERSITY LIBRARY



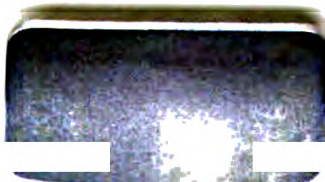
3 1924 098 511 532

@
QH5
112H1

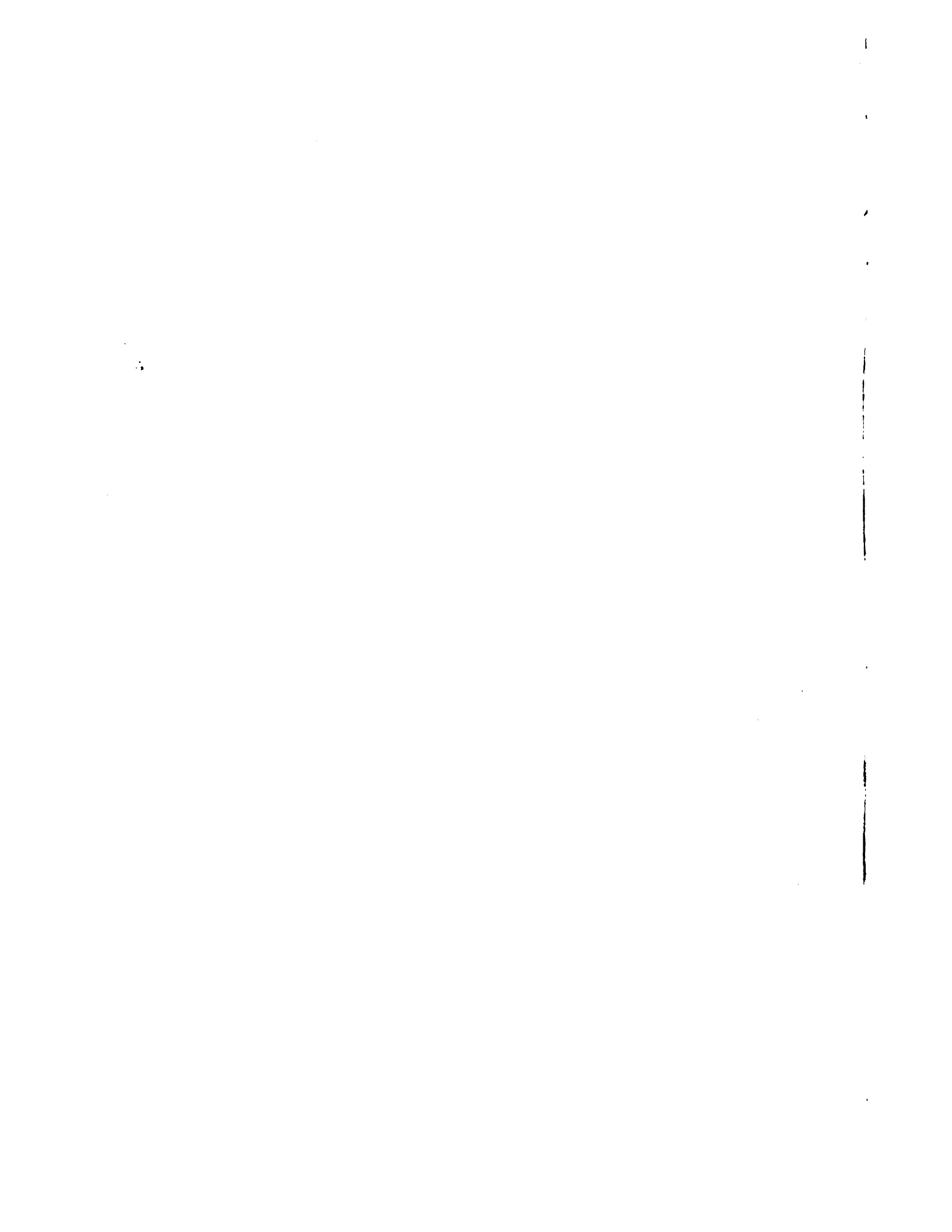


New York
State College of Agriculture
At Cornell University
Ithaca, N. Y.

Library







ABHANDLUNGEN
DER
NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT ZU HALLE

ORIGINALAUFSÄTZE

AUS DEM GEBIETE DER GESAMTEN NATURWISSENSCHAFTEN

IM AUFTRAGE DER GESELLSCHAFT HERAUSGEGEBEN

VON IHREM SEKRETÄR

DR. GUSTAV BRANDES

PRIVATDOZENT DER ZOOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIREKTOR DES ZOOLOGISCHEN GARTENS ZU HALLE A. S.

XXV. BAND

MIT 15 TAFELN UND 32 FIGUREN IM TEXTE



STUTTGART

E. SCHWEIZERBART'SCHE VERLAGSHANDLUNG

E. NAEGELE

1903—1906

Q
PH 5
N2H1
v. 25
1903-06

@ 34660

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
BERNDT, G., Beiträge zur Kenntnis der Gasspektren. (Mit 3 Tafeln.)	1
DORN, ERNST, Über die radioaktiven Eigenschaften des Wassers einiger Quellen	105
KLEBS, GEORG, Über künstliche Metamorphosen. (Mit 12 Tafeln und 21 Figuren im Texte.)	133
KÖTHNER und AEUER, Vorläufige Mitteilung über eine Revision des Atom- gewichts von Jod	89
SCHMIDT, K. E. F., Untersuchungen an der Tesla-Maschine und an Tesla- Kreisen. (Mit 9 Figuren im Texte.)	39
—, —, Elektrische Eigenresonanz. I. Teil. (Mit 2 Figuren im Texte.)	65
—, —, Wechselstromwiderstand von Drahtspulen	117
—, —, Mefsapparate für schnelle elektrische Schwingungen und ihre Ver- wendung in der drahtlosen Telegraphie	123

BEITRÄGE

ZUR

KENNTNIS DER GASSPEKTRA

VON

G. BERNDT

MIT 3 TAFELN

Es ist schon seit langem bekannt, dass chemische Verbindungen, je nach den Bedingungen des Versuchs, das Spektrum der Verbindung oder das der Elemente zeigen, dass auch oft in den ersten Minuten das Verbindungsspektrum auftritt, um dann dem der Elemente Platz zu machen, wie es schon PLÜCKER¹⁾ beobachtete. So übt vor allem die elektrische Entladung eine trennende, zersetzende Wirkung aus; Wasserdampf wird durch den elektrischen Funken in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, Jodwasserstoff in Jod und Wasserstoff, organische Verbindungen werden unter Ausscheidung von Kohlenstoff zersetzt etc. Umgekehrt kann der elektrische Funken, wenn er durch Gasgemische schlägt, die Veranlassung zu chemischen Verbindungen geben; aus Knallgas oder Gemischen von Stickstoff und Sauerstoff entstehen unter seinem Einfluss Wasserdampf und Stickstoffoxyde. Wir haben hier also zwei einander sich entgegenarbeitende Wirkungen, und es wird unter Umständen eine Art dynamischen Gleichgewichts zwischen denselben eintreten. Wann das der Fall ist, wird von den Versuchsbedingungen, dem Druck des Gases, der Temperatur, der Stromstärke, der Entladungsart und dem Mengenverhältnis der einzelnen Bestandteile abhängen. KAYSER²⁾ macht in seinem „Handbuch der Spektroskopie“ darauf aufmerksam, dass wir über diese Verhältnisse noch so gut wie nichts wissen. Auch HASSELBERG³⁾ weist auf dieselben hin und erinnert an die Versuche von BERTHELOT⁴⁾ über das Acetylen. „Wenn durch das

¹⁾ Plücker, Pogg. Ann. 105, S. 67—84. 1858; 107, S. 497—538 und 638—643. 1859.

²⁾ Kayser, Handbuch der Spektroskopie I, S. 248.

³⁾ Hasselberg, Mém. de l'Acad. de St. Pétersbourg, XXX, Nr. 7. 1852.

⁴⁾ Berthelot, Compt. Rend. 68, S. 810, 1035, 1107, 1546. 1869.

Gas eine andauernde Reihe elektrischer Entladungen gesandt wird, so findet eine Dekomposition statt; diese ist indessen nicht vollständig, sondern hört bei einer gewissen, von dem Druck des Gases abhängigen Grenze auf, wonach die Zusammensetzung des Gasgemisches konstant bleibt. Da ausserdem bei stetiger Änderung des Druckes die prozentische Zusammensetzung dieser Mischung sich nicht kontinuierlich, sondern sprungweise ändert, so ist innerhalb gewisser Grenzen diese Zusammensetzung auch vom Druck unabhängig. So z. B. fand BERTHELOT in 100 Volumenteilen der resultierenden Mischung bei einem Quecksilberdruck von

m 3,46 bis 0,41	12 Volumenteile Acetylen,
0,31	6,5 " " ,
0,23 bis 0,10	3,5 " " ,

welch letztere Mischung ihre Stabilität sogar bei einem Druck von einigen Millimetern bewahrte.

Man sieht hieraus, dass das Gleichgewicht zwischen Acetylen, Kohlenstoff und Wasserstoff in dem resultierenden Gasgemische sich nur sprungweise nach multiplen Verhältnissen mit dem Druck ändert.“ Ich habe diese Notiz ausführlicher mitgeteilt, weil es die einzige ist, welche ich über dieses dynamische Gleichgewicht zwischen der zersetzenden und der verbindenden Wirkung des elektrischen Funkens gefunden. WIEDEMANN und EBERT¹⁾ beobachteten, dass Haloidverbindungen des Quecksilbers bei passender Wahl von Stromstärke und Druck reine Verbindungsspektren des Quecksilbers gaben, dass also hier keine zersetzende Wirkung des elektrischen Stromes auftritt; ebenso fanden WIEDEMANN und SCHMIDT,²⁾ dass organische Verbindungen das Verbindungsspektrum zeigten, ohne dass die Banden des Kohlenstoffs, des Kohlenoxydes und des Cyans sichtbar wurden.

Es war nun das Ziel dieser Arbeit, Untersuchungen anzustellen über das Auftreten der Verbindungsspektren in Geissleröhren unter verschiedenen Umständen, als Druck, Stromstärke, Temperatur und Mengenverhältnis der Bestandteile des Gasgemisches; wann also treten die beiden Wirkungen der elektrischen Entladung, die vereinigende

¹⁾ Wiedemann und Ebert, Wied. Ann. 35, S. 209—64. 1898.

²⁾ Wiedemann und Schmidt, Wied. Ann. 56, S. 18—26. 1895.

und die trennende, in den Zustand des dynamischen Gleichgewichts? Eng verknüpft ist hiermit die folgende Frage: Wie ändert sich überhaupt das Spektrum eines Gases, wenn ich allmählich ein anderes Gas hinzufüge, sonstige gleiche Versuchsverhältnisse vorausgesetzt. Es liegen hierüber eine Reihe vereinzelter Beobachtungen vor, die man in dem Handbuch von KAYSER an den entsprechenden Stellen zusammengestellt findet, die aber zum weitaus grössten Teil deshalb ohne wesentliche Bedeutung sind, weil nähere Angaben über die Versuchsbedingungen fehlen. So gibt schon SECCHI¹⁾ an, dass Sauerstoff neben Stickstoff nicht zu sehen ist (was durchaus nicht allgemein zutrifft), dagegen Stickstoff und Wasserstoff gleichzeitig sichtbar sind. WIEDEMANN²⁾ macht einige Angaben über den Einfluss des Quecksilberdampfes und Natriums auf die Spektren von Stickstoff und Wasserstoff u. s. f. Von den meisten dieser Arbeiten gilt aber das oben Gesagte, und sie sind deshalb für unsere Kenntnis der in Betracht kommenden Erscheinungen ohne grösseren Wert. Als wichtiger wären noch die Arbeiten von COLLIE und RAMSAY³⁾ über den spektroskopischen Nachweis von Argon und Helium in Stickstoff und Wasserstoff zu erwähnen; sie führten zu dem Resultat, dass ein Teil Wasserstoff in 100 000 Teilen Helium zu erkennen, dass jedoch erst 10 % Helium im Wasserstoff — und zwar nur bei geringem Druck — spektroskopisch nachweisbar sind; ähnlich liegen die Verhältnisse für Helium und Stickstoff. Beim Argon gehören sogar 37 % dazu, um es im Stickstoff zu erkennen, während noch ein Teil Stickstoff in 1250 Teilen Argon nachzuweisen ist. Natürlich variieren diese Zahlen mit den Versuchsbedingungen, namentlich Druck und Stromstärke.

Wollte man jedoch genauere und allgemeiner verwendbare Resultate haben, so war es nötig, die Änderungen des Spektrums mit Druck, Temperatur, Stromstärke und Entladungsart photometrisch zu verfolgen, und zwar sowohl an reinen Gasen, wie an Gasgemischen. Erst diese Messungen können uns genaueren Aufschluss über viele Fragen geben; sie können beitragen zur Erforschung der Himmelskörper, wie auch zu der der Konstitution der Materie. Wir wissen ja

¹⁾ Secchi, Compt. Rend. 70, S. 79—84. 1870.

²⁾ Wiedemann, Wied. Ann. 5, S. 500—524. 1878.

³⁾ Collie und Ramsay, Proc. Roy. Soc. 59, S. 257—270. 1896.

jetzt schon, wie sehr das Aussehen eines Spektrums von der Art seiner Erzeugung und sonstigen Versuchsbedingungen abhängig ist, wie im Bogenspektrum hauptsächliche Linien des Funkenspektrums fehlen können und umgekehrt, um nur ein Beispiel herauszugreifen; wie sehr also die Intensitätsverhältnisse davon betroffen werden. Mindestens ebenso wichtig, wenn nicht vielleicht noch wichtiger, ist eine Kenntnis der Erscheinungen, welche in dem Spektrum eines Körpers auftreten, wenn ich diesem andere Substanzen zufüge. Da wir bei den Himmelskörpern stets Gemische von Substanzen haben, können wir auf diese nicht ohne weiteres unsere Kenntnis der Spektren reiner Substanzen verwerten. Ich erinnere an das Resultat von COLLIE und RAMSAY,¹⁾ dass 37 % Argon nicht im Stickstoff nachgewiesen werden können. Wir können deshalb wohl aus dem Auftreten der Spektrallinien eines Körpers in dem Spektrum eines Sternes auf sein Vorkommen auf demselben schliessen, nicht aber aus dem Fehlen seiner Spektrallinien auf sein nicht Vorhandensein auf jenem Gestirn; wir dürfen nur den Schluss ziehen, dass derselbe entweder gar nicht vorhanden oder in einer geringeren Menge, als uns das Spektroskop unter den obwaltenden Verhältnissen nachzuweisen gestattet, eine Menge, über die wir nach dem vorläufigen Stande unserer Kenntnis wohl in den weitaus meisten Fällen nicht die geringste Angabe machen können. Es wird uns dies erst möglich sein, wenn wir die Spektren der Gemische genauer studiert haben werden; diese Versuche werden uns zugleich auch Aufschluss über Molekularaufbau, Spaltung in Ionen und Eigenschaften derselben geben können; hierin ist die Wichtigkeit derselben begründet.

Die ersten photometrischen Messungen über die Intensitätsverhältnisse der Spektren rühren von LAGARDE²⁾ her, welcher fand, dass die Intensität einer Spektrallinie bei konstantem Druck proportional dem Logarithmus der Stromstärke, wobei die Basis der Logarithmen nahe gleich eins. Seine Versuche können jedoch nicht als ausschlaggebend gelten, da er einen Induktionsapparat zur Erzeugung der Spektren verwendete. Wegen der aufeinanderfolgenden Partialentladungen ist es nicht möglich, die Stromstärke mit einem

¹⁾ Collie und Ramsay, l. c.

²⁾ Lagarde, Ann. de chim. et phys. (VI) 4, S. 248. 1855.

Galvanometer genau zu messen; dazu kommt noch die Inkonzanz der Stromstärke, die durch Änderung der Unterbrechungszahl des Primärstromes hervorgerufen wird.

FERRY¹⁾ nahm deshalb die Versuche mit vorzüglichen Hilfsmitteln wieder auf; er verwendete den Apparat von ANGSTRÖM;²⁾ die Gase wurden mit Hilfe der CORNU'schen³⁾ Anordnung in die Geissleröhre gebracht; Hähne und Schiffe, die wegen ihrer Einschmierung mit Fett leicht Kohlenwasserstoffdämpfe abgeben, waren vermieden, die einzelnen Teile zusammen geschmolzen und alles gut gereinigt. Ob sich aber die Reinigung der Röhre mit Ozon empfiehlt, möchte ich dahingestellt sein lassen; es ist zu schwer, die letzten Spuren des Sauerstoffs wieder zu entfernen. Der Quecksilberdampf wurde durch Schwefel beseitigt und der Schwefeldampf seinerseits wieder durch Kupferspäne.

Bei den von ihm untersuchten Gasen — Stickstoff und Wasserstoff — kommt er zu folgenden Resultaten:

1. Bei Gasdrucken von 0,25—4,0 mm und Stromstärke von 1—6 Milliampere ist die Intensität der Linie eines Gasspektrums bei konstantem Druck proportional der Stromstärke (was in Übereinstimmung mit den Untersuchungen ANGSTRÖMS⁴⁾ steht, dass die strahlende Energie eines von einem elektrischen Strom durchflossenen Gases proportional der Stromstärke).

2. Bei konstanter Stromstärke nimmt die Intensität mit abnehmendem Druck zu, zunächst langsamer und dann schneller und zwar für verschiedene Linien verschieden.

In einer zweiten Arbeit untersucht FERRY⁵⁾ dann Gemische von Stickstoff und Wasserstoff. Er bestimmt das Mengenverhältnis beider, indem er in ein mit Wasser gefülltes Rohr zunächst Stickstoff, sodann Wasserstoff hineinlässt und jedes Mal das verdrängte Wasser wiegt. Diese Methode scheint mir nicht sehr geeignet zu sein, da sie zu Fehlerquellen und namentlich zur Verunreinigung der Gase Veranlassung geben kann. — Er kommt hierbei zu den folgenden Resultaten:

¹⁾ Ferry, Phys. Rev. 7, S. 1—9. 1898.

²⁾ Angström, Nova Acta Reg. Soc. Ups. III. 1892.

³⁾ Cornu, Journ. de phys. 5, S. 100—103 u. 341—541. 1886.

⁴⁾ Angström, l. c.

⁵⁾ Ferry, Phys. Review 7, S. 296—301. 1898.

1. Ist ein Gas in grosser Menge in einem Gemisch vorhanden, so ist die Intensität seiner Spektrallinien bei konstantem Druck proportional der Stromstärke und wird bei konstanter Stromstärke grösser mit abnehmendem Druck, verhält sich also fast wie ein reines Gas.

2. Ist ein Gas in kleiner Menge vorhanden, so wächst bei konstantem Druck die Intensität langsamer als die Stromstärke, und bei konstanter Stromstärke wächst sie zuerst mit abnehmendem Druck und bleibt bei weiterer Abnahme desselben ziemlich konstant.

3. Die Intensität bei konstanter Stromstärke und Druck ist nahezu proportional dem Mengenverhältnis der beiden Gase in der Mischung. —

Im gewissen Sinne wurden die Arbeiten von FERRY wieder aufgenommen von LEWIS.¹⁾ Er will den Einfluss von Quecksilberdampf, Wasserstoff, Sauerstoff und Wasserdampf auf die Spektren verschiedener Gase studieren. Er verwendet Röhren mit äusseren Elektroden, um von den Verunreinigungen frei zu sein, die bei inneren Elektroden durch allmähliche Abgabe okkludierter Gase eintreten könnten. Es sind hierdurch aber Messungen der Stromstärke ausgeschlossen; es muss hierunter die Genauigkeit seiner Messungen erheblich leiden, zumal der Induktionsapparat wegen Änderung der Unterbrechungszahl absolut keinen konstanten Strom liefert, wie schon bei den Versuchen von LAGARDE erwähnt. Auch ist sein Apparat nicht in der Weise konstruiert, um Verunreinigungen von den Gasen fern zu halten. Mit Fett eingeschmierte Hähne und Schiffe, sowie Siegellackverbindungen der einzelnen Teile, wie er sie mehrfach verwendet, geben im Laufe der Zeit stets Kohlenoxyddämpfe ab, die es auch wahrscheinlich bedingt haben, dass die Intensitäten der Spektrallinien mit der Zeit abnahmen. Deswegen werden seine Resultate auch nur mit einer gewissen Vorsicht zu gebrauchen sein; seine hauptsächlichsten sind:

1. Minimale Verunreinigungen können beträchtliche Änderungen der Spektren verursachen.

¹⁾ Lewis, Wied. Ann. 69, S. 398—425. 1899 und Ann. d. Phys. 4, S. 447 bis 458. 1901.

2. Quecksilberdampf übt in Quantitäten, die seiner Dampfspannung bei Zimmertemperatur entsprechen, einen bedeutenden Einfluss auf die Intensität des Spektrums aus, in noch geringeren Mengen dagegen einen verschwindend kleinen.

3. Bei einem bestimmten Druck, der abhängt von Stromstärke und Röhrenform, tritt ein Maximum der Helligkeit ein.

In der zweiten Arbeit wiederholt LEWIS die Messungen an Röhren mit inneren Elektroden und findet bei Verwendung des Induktoriums, dass die Einwirkung des Quecksilberdampfes nicht so bedeutend ist, und kein Intensitätsmaximum eintritt (bis zu 3,5 mm herunter), und bei Verwendung des Teslastromes, dass ein Helligkeitsmaximum bei 1,2—2 mm eintritt und Quecksilberdampf eine Verminderung der Intensität hervorruft. Er hatte bis jetzt nur das Wasserstoffspektrum untersucht und nimmt jetzt das Stickstoffspektrum in Röhren mit äusseren Elektroden hinzu. Er findet, dass die Intensität riesig inkonstant ist (was wohl Verunreinigungen durch Kohlenoxyd zuzuschreiben sein dürfte). Auch die Einwirkung des Quecksilberdampfes auf das Stickstoffspektrum ist unregelmässig, was er einer chemischen Verbindung zwischen Quecksilber und Stickstoff zuschreibt. Sauerstoff, Luft und Wasserdampf erniedrigen die Intensität des Stickstoffspektrums, während Jod- und Schwefeldampf auf dasselbe ohne Einfluss sind.

So ausgezeichnet auch die Arbeiten von LEWIS in qualitativer Hinsicht sind, so können sie uns doch wegen der oben erwähnten Fehlerquellen über die quantitativen Verhältnisse wenig Aufschluss geben; vor allen ist es die leicht eintretende Verunreinigung durch Kohlenoxyd, die zu Bedenken Anlass gibt.

Beide, sowohl FERRY wie LEWIS, versuchen im allgemeinen nicht, eine Deutung ihrer Resultate zu geben. —

So standen sich also immer noch die Arbeiten von LAGARDE und FERRY mit ihren verschiedenen Ergebnissen gegenüber. Wenn auch die von FERRY entschieden das grössere Zutrauen verdienen, so war doch eine erneute Untersuchung der einschlägigen Fragen auf jeden Fall wünschenswert. Ich beschloss deshalb, auch photometrische Messungen an reinen Gasen und Gasgemischen vorzunehmen, die

ursprüngliche Absicht nach dieser Seite hin zu erweitern und gleichzeitig eine Deutung der Resultate zu versuchen.

Gemäss der ursprünglichen Absicht wurde untersucht, ob das Ammoniakspektrum in einem Gemisch von Stickstoff und Wasserstoff unter verschiedenen Versuchsverhältnissen auftrat. Es waren damit die Gase, an deren Spektrum photometrische Messungen erfolgen sollten, gegeben.

Über das Ammoniakspektrum unter Einwirkung der elektrischen Entladung liegt nur eine Untersuchung von SCHUSTER¹⁾ vor, wie Herr Prof. KAYSER so freundlich war, mir anzugeben. Er erhielt es, indem er einen Strom des Ammoniakgases fortwährend durch die Geissleröhre destillieren liess und beschreibt es als ein breites grün-gelbes Band mit der ungefähren Wellenlänge $\lambda = 5686$ bis 5627 A. E.

Dagegen liegen über die Spektren der Gemische von Stickstoff und Wasserstoff ausser der schon ausführlich erwähnten Arbeit von FERRY eine Reihe mehr oder minder brauchbarer Beobachtungen vor.

LENGGYEL²⁾ gibt an, dass bei grossem Druck nur Wasserstoff in dem Spektrum des Gasgemisches sichtbar ist, und bei abnehmendem Druck zuerst die violetten Teile des Stickstoffspektrums, später auch die minder brechbaren erscheinen, was von CROOKES³⁾ bestätigt wird. Es fehlen nähere Angaben über Zusammensetzung des Gemisches, Stromstärke u. s. w. BEST⁴⁾ findet, dass im Gasgemisch spektralanalytisch nachweisbar ist, bei 760 mm 1,1% Stickstoff, bei 260 mm 3,6% und bei 90 mm 2,5%. Diese Zahlen hängen natürlich ganz von der Entladungsart ab.

Zu erwähnen wäre vielleicht noch die Beobachtung von GARBASSO,⁵⁾ dass bei Entladungen durch Ammoniak anfangs an der Kathode nur Wasserstoff, an der Anode nur Stickstoff, später auch hier Wasserstoff auftritt.

¹⁾ Schuster, Rep. Brit. Assoc. 1872, S. 38—39 u. Nature 6, S. 358—360. 1872.

²⁾ Lenggyel, Litter. Ber. aus Ungarn 3, S. 177—179. 1878.

³⁾ Crookes, The Electrician 48, S. 703 u. 739. 1902.

⁴⁾ Best, Manch. Proc. 26, S. 218. 1887.

⁵⁾ Garbasso, Arch. sc. phys. et nat. 11, S. 282—293 u. 329—344. 1891.

Apparat.

Der Wasserstoff wurde hergestellt auf elektrolytischem Wege aus Phosphorsäure, der Stickstoff durch Überleiten eines langsamen Luftstromes über glühende Kupferspähe, da sich eine Herstellung aus Glyzerin und Ammonnitrat nicht bewährte.

Da es darauf ankam, möglichst reine Gase zu erhalten, mussten an dem Apparat sämtliche Hähne und Schlitze vermieden werden. Es wurde deshalb zum Einleiten der Gase die CORNU'sche Anordnung gewählt und zum Abschliessen irgend welcher Teile U-Röhren. Fig. 1 gibt eine Skizze der Anordnung.

Nachdem mit der Luftpumpe vorgepumpt war, welche mit dem Apparate durch die KUNDT'sche Feder f (Fig. 2) verbunden war, wurde diese durch das U-Rohr a abgesperrt und die Evakuierung fortgesetzt mit der durch die KUNDT'sche Feder f' angeschlossenen Sprengelpumpe. An diese war eine Trockenröhre mittels zweier Schlitze mit Quecksilberdichtung, die mit Phosphorpentoxyd eingerieben waren, angesetzt. Um aber auch noch von diesen unabhängig zu sein, sowie um bei einem evtl. Undichtwerden der Pumpe die Geissleröhre nicht mit Luft füllen zu müssen, liess sich die Sprengelpumpe durch das U-Rohr b von dem übrigen Apparat absperren. Die beiden U-Röhre bestanden, der Quecksilbersparnis halber, aus 2 mm weiten Kapillaren, jeder Schenkel, sowie der untere Fortsatz 80 cm lang. Mittels Gummischlauchs waren sie mit Quecksilberreservoirs in kleinen Konsolen verbunden, welche in jeder gewünschten Höhe festgehängt werden konnten. h und i sind die beiden CORNU'schen Anordnungen, etwa 1 cm weite Röhren, welche in 80 cm Abstand von den Kugeln (die beim Aufsteigen der Gasblasen ein Heraufschleudern des Quecksilbers vermeiden sollten) kapillare, 2 mm weite seitliche Ansätze tragen. Diese setzen sich fort in die vertikalen 80 cm langen Ansätze f und l aus etwa 7 mm weiten Röhren, umgeben von einem weiteren Rohr mit unten angesetztem Hahn; ich will sie als Hilfsgasometer bezeichnen. Die kurzen, etwa 25 cm langen, 2 mm weiten U-Röhre e und m , mit Quecksilberreservoirs verbunden, dienen zur Absperrung des Stickstoffgasometers d und des Zersetzungsapparates n von den Hilfsgasometern. Das U-Rohr c , in denselben Dimensionen gehalten wie a und b , hat

den Zweck, den Stickstoffgasometer von dem Stickstoffdarstellungsapparat (Fig. 2) abzuschliessen. An die CORNU'schen Anordnungen schliessen sich die mit Natronkalk und Phosphorpentoxyd gefüllte Trockenröhre *o*, das Quecksilbermanometer *p* mit Spiegelskala und die Röhre *q* mit Schwefelpulver zur Abhaltung der Quecksilber- und im Wasserstoffstrom ausgeglühten Kupferspänen zur Abhaltung der Schwefeldämpfe. Zwei KUNDT'sche Federn *g*₁ und *g*₂ (Fig. 2) verbinden diesen Apparat mit der 2 m langen Spirale *g*, welche verhindern soll, dass die bei hohem Vakuum sich weit ausdehnenden elektrischen Entladungen die Kupfer-, Schwefel- oder die Trockenröhre treffen, wodurch Verunreinigungen der Gase eintreten würden. An diese schliesst sich die Geissleröhre *k* mit Längssicht an; da bei der Anwendung äusserer Elektroden eine Messung der Stromstärke ausgeschlossen, fanden Aluminiumhohlzylinder (1 cm Durchmesser, 3 cm lang) an Platindrähten, welche in verdünnter Schwefelsäure von Thonerde gereinigt und dann gut in destilliertem Wasser gespült waren, Verwendung. Die Geissleröhre selbst war aus Jenaer-Glas, der kapillare Teil etwa 4 mm weit und 10 cm lang, die Ansatzstücke für die Elektroden etwa 2 cm weit und 6 cm lang. Es war nicht möglich, eine durchweg gleich weite Röhre zu nehmen, da sonst die Lichtstärke zu schwach geworden wäre.

Sämtliche Teile wurden vor dem Zusammensetzen mit destilliertem Wasser, Alkohol und Äther gereinigt und dann längere Zeit ein Strom trockener Luft durch dieselben gesaugt. Nach dem Zusammenschmelzen wurde dieser Prozess soweit wie möglich wiederholt; es wurde dann mehrfach scharf evakuiert und mit trockener, durch Natronkalk von Kohlensäure befreiter Luft gespült.

Der Wasserstoff wurde durch Elektrolyse aus 15 % Phosphorsäure gewonnen, hergestellt aus Phosphorpentoxyd und frisch ausgekochtem destilliertem Wasser. Mit einiger Geschicklichkeit gelingt es, die ganze Anordnung *k*, *l*, *m*, *n* mit Quecksilber und Phosphorsäure zu füllen, sodass jedwede Luft daraus verdrängt ist. Durch den Strom von 5 Akkumulatoren (Fig. 2, 1), wurde der Wasserstoff entwickelt und so die Anordnung mit Wasserstoff gefüllt. Dieser erste Wasserstoff wurde vermittle der CORNU'schen Anordnung in den Apparat hineingelassen und aus diesem wieder herausgepumpt. Es wurde dann

solange Wasserstoff entwickelt, bis der linke offene Schenkel des Zersetzungsapparates ganz mit Phosphorsäure gefüllt war. Auf denselben wurde dann ein durchbohrter Kork mit einer Glasröhre gesetzt, welche sich durch einen Gummipfropfen verschliessen liess. Diese Anordnung hatte den Zweck, das allmähliche Absorbieren der Zimmerluft durch die Phosphorsäure zu vermeiden, wodurch sonst leicht eine Verunreinigung des Wasserstoffs hätte eintreten können.

Für die Herstellung des Stickstoffs wurde das im Physikalischen Institut der Universität Halle gebräuchliche Verfahren eingeschlagen (Fig. 2). Die dazu nötige Anordnung besteht aus dem mit Hahn versehenen Gasometer *b*, der mit Natronkalk und Phosphorpentoxid gefüllten Trockenröhre *c*, dem Kreuzrohr *d*, der mit im Wasserstoffstrom ausgeglühten Kupferspänen gefüllten, 50 cm langen Röhre *e* aus schwer schmelzbarem Glas, die, von einem Eisenmantel umgeben, durch sieben Bunsenbrenner bis zur Rotglut erhitzt werden konnte, dem T-Stück mit Hahn, mit Hilfe dessen diese Anordnung mit der Luftpumpe sowie mit der Sprengelpumpe verbunden werden konnte, der mit Kupferoxyd gefüllten Röhre *e'* aus schwer schmelzbarem Glas, die, mit Eisenmantel umgeben, durch vier Bunsenbrenner gleichfalls bis zur Rotglut erhitzt werden konnte. Mit Hilfe eines Glasrohres war diese Anordnung mit dem U-Rohr *c* (Fig. 1) und damit mit dem Gasometer *d* in Verbindung gesetzt. Die einzelnen Teile waren durch dickwandigen Gummischlauch und Gummischnur verbunden.

Es wurden zunächst die Kupferspäne durch Glühen im Wasserstoffstrom reduziert, nach dem Erkalten der Wasserstoff durch trockene Luft verdrängt und die ganze Anordnung bis an den Hahn des Gasometers *b*, einschliesslich des Gasometers *d*, mit Hilfe der Luft- und Sprengelpumpe scharf evakuiert. Es gelingt auch hier mit einiger Geschicklichkeit die Anordnung *d, e, f, g* völlig mit Quecksilber zu füllen und so jede Spur Luft aus derselben zu verdrängen. Dann wurden die Röhre *e* und *e'* bis zur Rotglut erhitzt und, während die Hähne 1 und 2 des Kreuzteils geöffnet, 3 und 4 geschlossen waren, langsam ein Strom Luft aus dem Gasometer *b* durch die Trockenröhre (zur Entfernung der Kohlensäure und des Wasserdampfes), über das glühende Kupfer (zur Entfernung des Sauerstoffs) und das glühende Kupferoxyd (zur Entfernung etwa noch vorhandenen Wasserstoffs) in den Gasometer *d*

gedrängt. Es wurden sodann die Hähne 1 und 2 geschlossen, 3 und 4 geöffnet und der Stickstoff jetzt aus dem Gasometer *d* in derselben Reihenfolge (glühendes Kupfer, glühendes Kupferoxyd) in den Gasometer *b* gedrückt und dies Verfahren vier Mal ganz ausserordentlich langsam wiederholt, sodass man sicher sein konnte, auch die letzten Spuren Sauerstoff entfernt zu haben, zumal noch $\frac{3}{4}$ des Rohres *e* mit blanken Kupferspänen gefüllt war. Im Gasometer *d* wurde dann der Stickstoff von dem Darstellungsapparat mit Hilfe des U-Rohres *c* abgesperrt, denn es war doch zu befürchten, dass durch die Gummischläuche, die für einige Stunden absolut sicher sind, im Laufe der Tage und Wochen Spuren von Luft eindringen.

Die Hähne waren mit einem Fett eingeschmiert, bestehend aus etwa 5 Teilen weissem Wachs und 3 Teilen Vaseline, welches Herr Prof. Dr. DORN so freundlich war, mir anzugeben. Dieses soll selbst im Vakuum keine Dämpfe abgeben. Aber selbst wenn geringe Mengen abgegeben wurden — und um diese kann es sich doch nur handeln — so wurden dieselben durch das glühende Kupfer zersetzt und die entstehenden Produkte durch die Trockenröhren und das Kupferoxyd chemisch gebunden. Dagegen enthielt der so dargestellte Stickstoff immer noch Spuren von Argon, die sich in der atmosphärischen Luft finden. Nach den Untersuchungen von COLLIE und RAMSAY¹⁾ hielt ich es nicht für nötig, dieselben zu entfernen, da ihr Einfluss nur ein ganz minimaler ist. Ich halte es für richtiger, lieber eine kleine, in ihren Einwirkungen als ungefährlich und unbedeutend genau bekannte Verunreinigung mit in den Kauf zu nehmen, als deswegen eine andere Darstellungsweise zu wählen, bei welcher zu leicht andere viel schädlichere Verunreinigungen auftreten können.

Bei den ersten Versuchen, bevor die Teile *e* und *f* zwischen geschaltet waren, stellte es sich heraus, dass man, obwohl die Quecksilberreservoirs der CORNU'schen Anordnungen mit Mikrometerschrauben versehen waren, doch nie die Gase in der gewünschten Weise in den Apparat leiten konnte. Es geschah meist mit solcher Heftigkeit, dass das Quecksilber der CORNU'schen Anordnungen trotz der zwischen geschalteten kugelförmigen Erweiterungen emporgeschleudert wurde und

¹⁾ Collie und Ramsay, l. c.

an allen möglichen Stellen die Verbindungen abspernte, namentlich in der ursprünglich mit dem Bogen nach unten liegenden Trockenröhre *o*. Durch das Emporschleudern traten dann noch plötzliche Druckverminderungen ein, die einer weiteren Masse des Gases den Eintritt in den Apparat erlaubten. Um zunächst von den Quecksilberverstopfungen frei zu werden, wurde die Trockenröhre in ihre jetzige Lage gedreht und jedwede horizontalen oder gar nach unten gebogenen Verbindungsteile vermieden, sodass das Quecksilber stets zurückfließen musste. Da bei der Weite des Gasometers (5 cm Durchmesser) die Masse des Gases, welche bei vorhandenem Druckunterschied in die CORNU'sche Anordnung eintritt, ziemlich bedeutend ist und dies die erwähnten Übelstände im Gefolge hat, wurde der Hilfsgasometer *f* eingefügt und durch diesen die Gasmasse reduziert. Ich füllte jetzt, nachdem das Quecksilber im U-Rohr *e* soweit gesenkt war, dass der Gasometer *d* und der Hilfsgasometer *f* kommunizierten, durch Ablassen des Quecksilbers in letzterem diesen mit Stickstoff, sperrte dann den Gasometer *d* durch das U-Rohr *ab* und senkte mit Hilfe der Mikrometerschraube das Quecksilber der CORNU'schen Anordnung *h* soweit, dass bei der geringsten Druckvermehrung im Hilfsgasometer das Gas in den Apparat treten musste. Aus einem Scheidetrichter liess ich dann Quecksilber tropfenweise in den Hilfsgasometer fallen, und sobald sich der nötige Überdruck hergestellt hatte, ging das Gas in einem langsamen Strom in den Apparat, dessen Schnelligkeit ganz nach Belieben reguliert werden konnte. Es war so auch möglich, jedwede gewünschte Menge zu erhalten. Da sich diese Anordnung gut bewährte, wurde auch beim Wasserstoff die entsprechende eingefügt. Es war hierdurch auch sofort möglich, den Prozentgehalt eines Stickstoff-Wasserstoffgemisches zu bestimmen. Beide Hilfsgasometer waren nämlich vor dem Einsetzen mit Quecksilber kalibriert, und ihre Querschnitte ergaben sich im Mittel für *f* zu 17,24 mm² und für *l* zu 16,34 mm². Es war dadurch die Messung des Volumens des eingeführten Gases auf eine Längenmessung reduziert, die sich mit Hilfe einer Spiegelskala mit Fernrohrablesung oder eines Kathetometers in jedem gewünschten Grade der Genauigkeit ausführen lässt. Voraussetzung ist natürlich dabei, dass das Quecksilber in den Röhren *g* und *e* nach Beendigung des Gaseinlassens an denselben Stellen steht, wie vor demselben, was sich jedoch sehr einfach erreichen lässt.

Vor Einführung der Hilfsgasometer f und l waren an den Stellen g und k sehr feine Kapillaren eingesetzt, in der Hoffnung, dass die Reibung des Gases in denselben das zu schnelle Eindringen desselben in den Apparat verlangsamten würde, was jedoch nicht in bemerkenswerter Weise eintrat.

Der Druck des Gases wurde am Manometer p bestimmt, mit Hilfe der Spiegelskala und des Fernrohres t' (Fig. 2). Die hierdurch erzielte Genauigkeit war völlig ausreichend, sodass es nicht nötig schien, ein MAC-LEODSches Manometer einzuschalten, das seines grossen Volumens wegen die Evakuierung unnötig erschwerte.

Nachdem der Apparat mit Luft genügend vorgespült, wurde er scharf evakuiert; gleichzeitig wurde die Geissleröhre in einem mit Asbest gefütterten eisernen Ofen bis auf etwa 200° erhitzt und starke Entladungen durch das Rohr gesandt. Dann wurde das zu untersuchende Gas hineingelassen bis zu einem Druck von einigen Zentimetern und in derselben Weise verfahren. Dies wurde so oft wiederholt, als sich noch irgend welche Verunreinigungen zeigten, zum mindesten jedoch drei Mal. Man wird so befreit von den okkludierten Gasen der Elektroden und den adsorbierten der Glaswände. Allerdings liegt die Gefahr nahe, dass beim Erhitzen der Geissleröhre dieselbe springt, was auch mehrfach eintrat, und zwar stets an der Einschmelzstelle der Kathode. Es ist das Erhitzen aber doch das geeigneteste Mittel, um jedwede Verunreinigung zu beseitigen, und man muss schon das Risiko des Platzens der Röhre mit in den Kauf nehmen.

Da für die Erzeugung des elektrischen Stromes ein Induktionsapparat oder ähnliche Hilfsmittel nach dem oben Erwähnten nicht in Betracht kommen konnten, mir andererseits eine Hochspannungsbatterie nicht zur Verfügung stand, blieb nur die Benutzung einer Influenzmaschine übrig. Ich verwendete die zwanzigplattige des hiesigen Physikalischen Instituts (Fig. 2, a), welche im Maximum einen Strom von 1 Milliampere lieferte. Ich erhielt zwar so nur schwache Ströme, andererseits aber auch eine hohe Spannung, sodass ich zu etwas höheren Drucken, wie FERRY hinaufgehen konnte. Die Stromstärke wurde gemessen durch das D'ARSONVAL-Galvanometer u von 244Ω inneren Widerstand. Der Reduktionsfaktor, welcher am Anfang und Ende jeder Versuchsreihe bestimmt wurde, war bei dem benutzten

Skalenabstand (etwa 3000 Set.) 0,86 bis $0,90 \cdot 10^{-5}$ C. G. S. Um nicht die ganze Spannung durch das Instrument gehen zu lassen, wurde es zum Stromkreis der Influenzmaschine in Nebenschluss gelegt. Der Nebenschlusswiderstand u' war ein Neusilberdraht von etwa 10Ω Widerstand in einem Petroleumbenzinbade, dessen Temperaturkoeffizient bestimmt war. Von diesem aus gingen die Drähte zu der 6-napfigen Wippe o aus Paraffin, die in Verbindung stand mit dem 4-napfigen Kommutator o' aus Ebonit, welcher es ermöglichte, den Strom im Galvanometer u zu wenden (einmal Verbindung durch die ausgezogenen, das andere Mal durch die punktierten Linien). Die beiden freien Klemmen der 6-napfigen Wippe standen in Verbindung mit der Anordnung zur Bestimmung des Reduktionsfaktors: der Stromkreis eines Akkumulators wurde durch den Rheostaten q , das Milliamperemeter r und den Unterbrecher s geschlossen. Von dem Widerstand war die Leitung zum Kommutator o abgezweigt. Es war so möglich, durch Umschalten des Hebels der 6-napfigen Wippe einmal den Reduktionsfaktor zu bestimmen (ausgezogene Linien) und sofort hinterher die Stromstärke der Influenzmaschine zu messen (punktierte Linien). Ein Vergleich der Angaben des Galvanometers mit der Tourenzahl der Influenzmaschine zeigte Proportionalität zwischen beiden.

Ein empfindliches Instrument nach DEPREZ D'ARSONVAL ($C = 2,5 \cdot 10^{-8}$) liess sich nicht verwerten, da die eine Zuleitung durch das äussere Metallgehäuse erfolgte und auf diesem statische Ladungen auftraten, welche eine Verschiedenheit in den Ausschlägen bei Stromwendung bis auf 200 Skalenteile verursachten.

Das Potential wurde mit Hilfe eines genauen Funkenmikrometers m bestimmt, welches parallel zur Geisslerröhre geschaltet war. Abhängigkeit vom Luftdruck und von der Temperatur wurden berücksichtigt.

Influenzmaschine und Galvanometer waren durch Glas isoliert, alle übrigen Teile, Geisslerröhre, Funkenmikrometer und Kommutatoren durch Paraffin. Sämtliche Drähte (die in der Figur gestrichelt sind) waren über Paraffin geleitet oder an Seidenfäden aufgehängt. Eine gute Isolation stellte sich als notwendig heraus wegen des Erdschlusses der Lichtleitung des Instituts.

Angetrieben wurde die Influenzmaschine durch den Elektromotor v , welcher an die Lichtleitung des Instituts (110 Volt) angeschlossen war. Der Regulierwiderstand w befand sich am Platze des Beobachters.

Bei der geringen Lichtstärke des Spektrums (infolge der geringen Stromstärke) war an eine Verwendung des GLAN'schen Spektrophotometers nicht zu denken; es wurde deshalb ein Spektrophotometer mit VIERORDT'schem Doppelspalt, mit Mikrometerschrauben und Trommelteilung, mit geringer Dispersion gewählt. Das Vergleichsspektrum lieferte die Glühlampe x hinter dem Seidenpapierschirm p , deren Licht durch das kleine total reflektierende Prisma y auf den Spalt des Spektrophotometers k geworfen wurde, welcher $\frac{1}{5}$ mm breit gewählt war. Eine Skala, sowie Mikrometerschraube mit Trommelteilung am Beobachtungsfernrohr erlaubten eine genaue Bestimmung der Lage der Spektrallinien, ein verschiebbarer und in seiner Breite in messbarer Weise veränderlicher Schlitz die Aussonderung des zu untersuchenden Spektraltheiles.

Wegen der Lichtschwäche des Spektrums war es zum Teil notwendig, grössere Unterschiede zwischen den beiden Spalthälften zu wählen. Es ist zwar dann die Intensität nicht mehr ganz genau umgekehrt proportional der Spaltbreite, doch ist der dadurch entstehende Fehler geringer, als wenn man auch das Vergleichsspektrum so schwach wählt. Das Auge verliert bei allzuschwachem Licht zu sehr an Unterscheidungsfähigkeit, sodass die hier auftretenden Fehler beträchtliche Grösse erreichen können.

Photometrische Messungen.

Es wurden photometrische Messungen ausgeführt bei Stromstärken von $200 - 1000 \cdot 10^{-6}$ Amp. und Drucken von $0,8 - 0,01$ cm. Wegen der Inkonstanz des Stromes der Influenzmaschine bei geringer Tourenzahl waren Messungen bei kleiner Stromstärke sehr schwierig. Durch allmähliche Übung gelang es jedoch, auch hier brauchbare Resultate zu erhalten. Bei den höheren Drucken stimmen die Messungen nicht so gut überein, da hier die Entladungen nicht den ganzen Querschnitt der Röhre ausfüllen, sondern von einzelnen Punkten der Elektroden

als dünne Fäden durch die Geissleröhre laufen. Auch die Potentiale liefern deshalb bei verschiedenen Serien verschiedene Werte. Bei den ganz kleinen Drucken (0,01 cm) machte die Messung des Potentials einige Schwierigkeiten, doch stimmen die Werte für die Intensitäten der untersuchten Spektralteile bei den verschiedenen Serien hier, sowie auch bei mittleren Drucken, recht gut überein. Eine Reduktion der Intensitätsmessungen auf absolutes Mass wurde nicht vorgenommen.

a) Stickstoff.

Es wurden die Messungen in der Weise angestellt, dass die Röhre mit Stickstoff bis zu 1 cm Druck gefüllt wurde; dieser wurde für die folgenden Messungen durch Abpumpen bis zum gewünschtem Grade reduziert. Nach einigen Tagen wurden dann die Messungen an einer frischen Portion Stickstoffs wiederholt. Beide Serien zeigen im allgemeinen eine recht gute Übereinstimmung. Gemessen wurden die beiden Banden λ 6069 und λ 5214 A. E.

Bei den Beobachtungen bei Zimmertemperatur wurden keine Quecksilberlinien, selbst bei geringem Druck und grosser Stromstärke, gefunden. Bei den Beobachtungen bei 200° tritt die grüne Quecksilberlinie, allerdings sehr schwach, auf, ein Zeichen dafür, dass Schwefel und Kupfer die Quecksilberdämpfe nicht völlig fernhalten, wie es schon AMES ¹⁾ und WARBURG ²⁾ beobachteten und wie es auch LEWIS ³⁾ angibt, während FERRY ⁴⁾ diese Beobachtung nicht gemacht zu haben scheint. LEWIS nimmt mit THRELFALL ⁵⁾ an, dass sich eine Quecksilberstickstoffverbindung bildet; ich glaube, dass auch wohl ein Aluminiumamalgam entsteht, welches, bei Zimmertemperatur beständig, bei höherer Temperatur zersetzt wird und so Veranlassung zum Auftreten der Quecksilberlinien gibt.

Da bei den hauptsächlichsten Messungen bei Zimmertemperatur sich keine Quecksilberlinien zeigten und auch bei denen bei höherer Temperatur die von dem Schwefel und Kupfer doch noch durchge-

¹⁾ Ames, Phil. Mag. 30, S. 49. 1890.

²⁾ Warburg, Wied. Ann. 31, S. 556. 1887.

³⁾ Lewis, l. c.

⁴⁾ Ferry, l. c.

⁵⁾ Threlfall, Phil. Mag. 35, S. 1. 1893.

lassen minimalen Mengen bei Verwendung von inneren Elektroden (nach LEWIS) fast gar keinen Einfluss ausüben, so wurden weitere Mittel, den Quecksilberdampf fern zu halten, nicht verwendet.

In der Tabelle I gebe ich die Beobachtungsergebnisse. Dabei bedeutet p den Druck in Millimetern, V das Potential in Volt, i die Stromstärke in 10^{-6} Ampere, I die Helligkeit, bezogen auf die des Vergleichsspektrums und noch multipliziert mit irgend einem konstanten Faktor, I/i die Helligkeit dividiert durch die Stromstärke, noch multipliziert mit einem konstanten Faktor, M den Mittelwert der I/i . Die mit einem Stern versehenen Werte von I/i sind offenbar Beobachtungsfehler wegen beim Mittelnehmen nicht berücksichtigt. Die Zahlen der ersten Spalte geben an, aus welcher Beobachtungsreihe die Resultate erhalten sind.

Tabelle I.

Serie	p mm	V	λ 5214				λ 6069			
			i	I	I/i	M	i	I	I/i	M
I	7,90	7200	zu	licht	schwa	ch	413	204	4,95	4,47
							522	231	4,43	
							577	250	4,33	
							721	267	3,69*	
							923	386	4,18	
II	7,50	5040	zu	licht	schwa	ch	268	113	4,21	4,62
							431	202	4,69	
							630	285	4,52	
							964	489	5,07	
II	6,15	4240	475	100	2,10	2,11	257	132	5,14	5,04
			602	127	2,11					
			865	226	2,62*					
			860	455	5,29					
I	5,95	5330	480	100	2,08	2,22	405	235	5,39	5,04
			612	128	2,09					
			765	179	2,34					
			850	202	2,38					
			516	252	4,58					
			631	291	4,62					
748	388	5,18								
797	392	4,92								
954	495	5,19								

Serie	p mm	V	λ 5214				λ 6069			
			i	I	I/i	M	i	I	I/i	M
II	4,00	3750	449	150	3,34	3,43	232	163	7,02*	5,95
			630	221	3,51		458	285	6,23	
			904	305	3,45		694	404	5,82	
							900	521	5,79	
I	3,85	3710	351	100	2,85*	3,47	321	216	6,73	5,97
			486	161	3,32		443	264	5,96	
			601	205	3,41		516	340	6,59	
			716	253	3,54		671	366	5,45	
			892	322	3,61		875	449	5,13	
II	3,00	3240	221	100	4,52	4,39	217	141	6,53	6,23
			471	200	4,25		438	279	6,37	
			593	264	4,45		692	417	6,02	
			873	377	4,32		858	495	5,77*	
I	2,85	3390	355	183	5,16*	4,43	346	221	6,37	6,42
			508	234	4,62		444	283	6,37	
			600	254	4,23		544	346	6,37	
			907	475	5,24*		630	414	6,57	
							899	510	5,60*	
I	1,95	2800	359	180	5,01	5,09	205	158	7,73	7,27
			567	290	5,12		435	317	7,28	
			651	344	5,28		553	403	7,29	
			884	443	5,01		822	521	6,34*	
			834	566	6,78					
II	1,90	2900	232	116	5,02	5,09	210	152	7,26	7,18
			431	223	5,16		395	272	6,89	
			661	336	5,08		450	377	7,55	
			938	477	5,09		668	466	6,98	
							907	639	7,05	
I	1,45	2560	421	214	5,08	5,22	262	216	8,26	7,96
			593	341	5,76		448	356	7,93	
			754	381	5,04		527	404	7,67	
			826	413	4,99		574	463	8,08	
							651	532	8,16	
			806	635	7,87					
II	1,45	2560	261	132	5,06	5,26	257	206	8,03	8,02
			467	240	5,15		409	329	8,04	
			606	341	5,63		612	481	7,83	
			878	450	5,13		841	690	8,20	

Serie	p mm	V	λ 5214				λ 6069			
			i	I	Ii	M	i	I	Ii	M
I	0,95	2190	224	122	5,45	5,60	391	363	9,30*	8,79
			397	220	5,55		433	396	9,15*	
			586	330	5,64		607	535	8,82	
			1012	583	5,75		1013	888	8,76	
II	0,925	2160	203	120	5,90	5,51	197	172	8,74	8,60
			375	216	5,78		458	404	8,82	
			771	435	5,65		717	606	8,45	
			955	566	5,92		985	825	8,39	
I	0,70	1980	190	120	6,31	6,10	241	229	9,51	9,38
			407	252	6,19		443	413	9,31	
			653	379	5,80		650	604	9,29	
			838	510	6,09		832	783	9,41	
II	0,60	1810	253	154	6,08	6,30	214	192	8,98*	9,62
			490	300	6,12		471	450	9,55	
			634	440	6,94		632	609	9,65	
			861	521	6,05		871	843	9,67	
I	0,40	1750	212	124	5,85*	6,74	245	246	10,04	10,07
			407	257	7,05		494	492	9,98	
			703	453	6,45		621	635	10,00	
			764	514	6,73		804	818	10,17	
II	0,275	1390	253	198	7,01	7,08	244	251	10,27	10,35
			455	296	6,74*		441	460	10,44	
			582	413	7,09		655	660	10,08	
			552	815	7,15		846	900	10,62	
I	0,175	1260	270	198	7,33	7,71	269	273	10,15	10,74
			416	307	7,38		454	494	10,88	
			728	552	8,00		707	777	10,98	
			823	671	8,15		802	880	10,97	
I	0,10	1240	230	189	8,20	8,46	194	228	11,72	11,63
			395	336	8,50		412	474	11,51	
			682	574	8,43		762	892	11,70	
			948	825	8,71		876	1016	11,59	
II	0,075	1200	221	189	8,55	8,58	210	251	11,95	11,81
			394	336	8,52		396	489	12,19	
			751	639	8,51		681	783	11,49	
			944	825	8,74		974	1132	11,62	

Man ersieht aus der Tabelle, dass bei konstantem Druck im allgemeinen I/i nahezu konstant [= C] ist, dass also $I = C \cdot i$, die Helligkeit proportional der Stromstärke ist. Betrachte ich die Abhängigkeit der Helligkeit bei konstanter Stromstärke vom Druck, (die mir durch die Mittelwerte der I/i dargestellt wird), so sehe ich, dass M , die Helligkeit bei konstanter Stromstärke, mit abnehmendem Druck wächst, und zwar für die beiden Banden in verschiedener Weise. Fig. 3 zeigt mir den Zusammenhang zwischen I/i , der Helligkeit bei konstanter Stromstärke, und dem Druck p , wobei letzterer als Abscisse, I/i als Ordinate aufgetragen ist. Für beide Banden verlaufen die Kurven (von hohem Druck ausgehend) zunächst mit ziemlicher Annäherung gradlinig und gehen dann in einen gebogenen Teil über, welcher sich asymptotisch der Ordinatenachse nähert. Man ersieht daraus, dass die Helligkeit (immer bei konstanter Stromstärke) mit abnehmendem Druck zunächst langsam und bei geringeren Drucken schneller wächst. Auf eine weitere Diskussion der Erscheinungen werde ich nachher eingehen.

Versuche bei 200°, welche nur in geringer Anzahl angestellt wurden, ergaben innerhalb der Beobachtungsfehler dieselben Werte für I/i , woraus folgt, dass die Temperatur des Gases innerhalb der Versuchsgrenzen ohne Einfluss auf die Intensität des Spektrums des leuchtenden Gases ist, wie es auch leicht erklärlich ist, da wir es hier nicht mit Temperaturstrahlung zu tun haben.

b) Wasserstoff.

Beim Reinigen der Geissleröhre behufs der Füllung mit Wasserstoff platzte dieselbe an der Einschmelzstelle der Kathode. Es wurde ein möglichst kongruenter Teil unter Verwendung der alten Elektrode angeschmolzen. Immerhin war hierzu eine Verschiebung des Photometers notwendig, sodass die Intensitäten des Wasserstoff- und Stickstoffspektrums in Bezug auf das Vergleichsspektrum nur innerhalb gewisser Grenzen mit einander verglichen werden können.

Beim Wasserstoff trat stets, allerdings sehr schwach, die grüne Quecksilberlinie auf, bei 200° daneben auch die gelbe und violette

Linie, was die Beobachtung von LEWIS¹⁾ bestätigt, dass Wasserstoff stets die Lichtemission etwa vorhandenen Quecksilberdampfes hervorruft. Da die Versuche bei 200° von geringerer fundamentaler Bedeutung sind, und bei denen bei Zimmertemperatur die vorhandene Quecksilbermasse eine ganz minimale gewesen sein muss, welche, wie schon oben erwähnt, fast gar keine Wirkung auf das Spektrum ausübt, wurde auch hier von weiteren Mitteln zur Fernhaltung der letzten Spuren des Quecksilberdampfes abgesehen.

Das sogenannte 2. Spektrum des Wasserstoffs trat stets auf. Nach den hier getroffenen Vorsichtsmassregeln für die Reinheit der Gase wird man es wohl nicht gut Verunreinigungen zuschreiben dürfen, wie es neuerdings FERRY²⁾ noch wieder tut. Ich kann nur die Beobachtungen und Schlüsse von LEWIS¹⁾ bestätigen, wonach dasselbe wegen seiner geringeren Helligkeit bei engem Spalt und grosser Dispersion so schwach werden dürfte, dass es nicht mehr zu erkennen ist. Daraus erklären sich auch vielleicht die entgegengesetzten Beobachtungen Anderer, wie SALET³⁾ und CORNU.⁴⁾ SCHUMANN,⁵⁾ der wohl am meisten mit Wasserstoffröhren gearbeitet, gibt sogar an, dass er das 2. Spektrum am intensivsten in den am sorgfältigsten gereinigten Röhren erhalten hat und am schwächsten in ungereinigten, woraus man gerade den umgekehrten Schluss ziehen kann, dass das Nichtauftreten des 2. Spektrums auf Verunreinigungen zurückzuführen ist.

Die folgende Tabelle II enthält die Beobachtungsergebnisse am Wasserstoff in derselben Weise und mit denselben Bezeichnungen, wie Tabelle I für den Stickstoff. Es wurde nur die rote Wasserstofflinie (λ 6563) gemessen, da für die grüne (λ 4861) die Beobachtungsfehler schon zu gross wurden, infolge der abnehmenden Urteilsfähigkeit des Auges von Rot nach dem Violett zu, und da das 2. Wasserstoffspektrum für die photometrischen Messungen zu lichtschwach war. — Die erhaltenen Resultate sind etwas konstanter wie beim Stickstoff.

¹⁾ Lewis, l. c.

²⁾ Ferry, l. c.

³⁾ Salet, Ann. de chim. et phys. 28, S. 22. 1871.

⁴⁾ Cornu, Journ. de Phys. 5, S. 100. 1886.

⁵⁾ Schumann, Jahrb. für Photogr. 8, S. 59. 1894.

Tabelle II.

Serie	p	V	i	I	I/i	M	Serie	p	V	i	I	I/i	M	
I	8,2	4840	380	128	3,36	3,41	II	1,00	1530	232	100	8,53	8,29	
			707	240	3,39					359	296	8,24		
			865	300	3,47					612	495	8,09		
										882	733	8,31		
II	7,15	4410	422	152	3,61	3,66	I	0,95	1480	232	198	8,53	8,41	
			707	264	3,73					422	344	8,16		
			834	305	3,65					591	495	8,38		
										887	762	8,59		
I	6,05	4030	433	172	3,98	3,98	I	0,625	1380	232	226	9,75	9,87	
			718	287	4,00					422	417	9,88		
			891	354	3,97					633	629	9,93		
										887	880	9,93		
II	4,50	3590	401	180	4,49	4,54	II	0,45	1250	270	281	10,39	10,48	
			570	261	4,57					380	404	10,63		
			844	385	4,55					685	707	10,32		
										908	961	10,59		
I	2,95	2850	169	104	6,17	6,05	I	0,325	1220	232	264	11,47	11,38	
			385	226	5,88					439	495	11,28		
			612	381	6,22					580	660	11,47		
			918	543	5,91					876	990	11,30		
I	2,05	2520	211	141	6,70	6,72	II	0,225	1170	233	288	12,13	12,23	
			359	240	6,69					422	521	12,34		
			633	439	6,80					623	747	12,00		
			802	535	6,67					908	1132	12,47		
II	2,00	2380	190	139	6,77	6,89	I	0,15	1140	232	305	13,12	13,06	
			422	296	7,00					475	619	13,03		
			654	450	6,88					697	921	13,22		
			844	582	6,90					960	1238	12,88		
I	1,35	1900	232	172	7,42	7,59								
			359	279	7,77									
			633	477	7,54									
			879	683	7,61									

Auch aus dieser Tabelle ersieht man, dass bei konstantem Druck I/i konstant ist, dass also die Helligkeit proportional der Stromstärke ist, und dass bei konstanter Stromstärke die Helligkeit

(M) mit abnehmendem Druck wächst. Fig. 3 zeigt in ähnlicher Weise, wie für den Stickstoff, den Zusammenhang zwischen M , der Helligkeit bei konstanter Stromstärke, und dem Drucke p . Die Kurve zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die entsprechenden für die Stickstoffbanden: Sie verläuft (bei hohem Druck) zunächst angenähert gradlinig und geht dann in einen gebogenen Teil über, der sich asymptotisch der Ordinatenachse nähert. Auch hier wächst also bei konstanter Stromstärke die Helligkeit zunächst langsam mit abnehmendem Druck und dann schneller. —

c) Weitere Diskussion der Resultate.

Will man den Versuch einer Deutung der beobachteten Erscheinungen machen, so bietet, neben anderen, die JONENTHEORIE vielleicht eine geeignete Grundlage hierfür. Jedenfalls vermag man auch von ihrem Standpunkte aus eine Reihe der hier beobachteten Erscheinungen mit Leichtigkeit zu erklären.¹⁾

Wir haben es bei den durch den elektrischen Strom zur Lichtemission erregten Gasen nicht mit Temperaturstrahlung zu tun, wie ja schon daraus hervorgeht, dass für sie das KIRCHOFF'sche Gesetz über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption nicht gilt. Das Leuchten der Gase wird — nach der JONENTHEORIE — nicht hervorgebracht durch die kinetische Energie (oder die absolute Temperatur) der neutralen Moleküle, sondern durch die der Ionen, welche — bei hinreichend grosser Geschwindigkeit — durch ihren Stoss die Gasteilchen zur Lichtemission erregen, indem sie die in den Atomen gebundenen positiven und negativen Ionen in Schwingungen versetzen, welche im elektrischen Felde erfolgen und so elektromagnetische Energieänderungen hervorbringen, d. h. Licht emittieren. Da nun die negativen Ionen (ihrer kleineren Masse wegen) eine weit grössere kinetische Energie annehmen als die positiven, sind jene es hauptsächlich, welche die Lichtemission erregen.

Im gewöhnlichen nicht stromdurchflossenen Zustande ist die kinetische Energie der Ionen gleich der der neutralen Moleküle. Nehmen wir Zimmertemperatur an, so beträgt also ihre absolute Temperatur etwa 300°.

¹⁾ Vergleiche hierzu das Buch von Stark, Die Elektrizität in Gasen, dem ich einen Teil der folgenden Angaben entnehme.

Mit Hilfe des elektrischen Stromes können wir jedoch den Ionen eine weit höhere Temperatur verleihen, indem wir sie eine Potentialdifferenz frei durchlaufen lassen. Beträgt die von den Ionen frei durchlaufene Spannungsdifferenz nur 1 Volt, so ist ihre absolute Temperatur schon 6000° . Nun beträgt der in der positiven Lichtsäule von den negativen Ionen frei durchlaufene Potentialunterschied (in weiten Röhren für Luft) 40 Volt, was einer absoluten Temperatur von $1,2 \cdot 10^5$ Grad entspricht; für andere Gase ergibt sich dieselbe Größenordnung. Man ersieht hieraus, dass die durch den elektrischen Strom erzeugte kinetische Energie die durch blosse Temperaturerhöhung erzielte bei weitem übertrifft, dass sie selbst bei Erhitzung der Geissleröhre auf 500° absoluter Temperatur (die höchste Temperatur, die man im allgemeinen wird anwenden dürfen, da sonst das Glas beginnt, weich zu werden) noch nicht $\frac{1}{2}\%$ der durch die Elektrizität erzeugten ausmacht.

Unter sonst gleichen Versuchsbedingungen wächst nun die Intensität des ausgestrahlten Lichtes mit der absoluten Temperatur der Ionen. Aus dem Obigen folgt dann, dass es nicht möglich sein kann, durch Erhitzen der Geissleröhre die Intensität des ausgestrahlten Lichtes zu verstärken, was durch die Versuche bei Zimmertemperatur und 200° bestätigt wird, welche innerhalb der Beobachtungsfehler dieselben Resultate ergaben. —

Die kinetische Energie der Ionen hängt, wie schon gesagt, ab, von der freidurchlaufenen Spannungsdifferenz, d. h. von dem Potentialgefäll zwischen 2 Punkten der Geissleröhre, etwa der beiden Elektroden, und der freien Weglänge der Ionen; hält man diese beiden konstant, beobachtet also bei demselben Druck und derselben Potentialdifferenz, so kann man noch die Stromstärke variieren. Wie sich nun gezeigt hat, ist die Anzahl der Ionen proportional der Stromstärke; andererseits ist die Intensität des ausgestrahlten Lichtes — bei konstanter kinetischer Energie der Ionen — proportional der Zahl der Zusammenstöße der negativen Ionen mit den neutralen Molekülen, und diese ist wieder proportional der Zahl der Ionen. Es muss somit die Intensität einer Spektrallinie unter sonst gleichen Versuchsbedingungen proportional der Stromstärke sein, d. h. die Helligkeit, dividiert durch die Stromstärke, muss eine Konstante sein, wie es durch die Versuche bestätigt wird (vgl. Tabelle I und II, I/i).

Ausser von der Zahl der Ionen hängt die Intensität des ausgesandten Lichtes, wie schon gesagt, noch ab von der kinetischen Energie derselben, und zwar wächst sie mit einer höheren Potenz der kinetischen Energie; sie ist also abhängig vom Potentialgefäll und der freien Weglänge der Ionen. Sie ist ferner auch abhängig davon, welcher Betrag der Ionenenergie durch das Gas absorbiert wird, welcher Betrag derselben also dazu verwendet wird, die Atome zur Lichtemission zu erregen. Dieser wird natürlich für verschiedene Gase verschieden gross sein und auch für jedes Gas abhängen von der Geschwindigkeit der Ionen, und zwar wird er relativ um so grösser sein, je kleiner die Geschwindigkeit der Ionen ist.

Vermindere ich nun unter Konstanthaltung der Stromstärke den Druck des Gases, so nimmt das Potentialgefälle ab, gleichzeitig aber wächst die freie Weglänge der Ionen und zwar im stärkeren Masse als das Potential abnimmt, sodass wir im Ganzen doch eine grössere kinetische Energie der Ionen erhalten; damit ist aber, ihrer grösseren Geschwindigkeit wegen, eine Abnahme der Absorption der Ionenenergie verbunden. Dazu kommt schliesslich noch eine Abnahme der Ionenzahl mit abnehmendem Druck.

Es ist bis jetzt sehr schwer, diese Wirkungen im einzelnen genauer zu verfolgen, da hierüber noch nicht genügend Untersuchungen vorliegen, und man muss sich deshalb vielfach auf Vermutungen stützen. Ich lege daher den folgenden Ausführungen, da sie rein hypothetisch sind, wenig Gewicht bei; sie können weiter nichts sein, als ein vorläufiger Versuch, diesen Erscheinungen näher zu treten; über ihre Berechtigung wird erst das Experiment entscheiden können. Dem Spektralanalysen kann es im gewissen Sinne auch gleichgiltig bleiben, wie diese Wirkungen im einzelnen vor sich gehen; ihn interessiert mehr das Gesamtergebn, und das lautet dahin, dass der Zuwachs der Ionenenergie die geringere Absorption und die Abnahme der Ionenzahl überwiegt, sodass als schliessliches Resultat sich eine Zunahme der Intensität mit abnehmendem Druck ergibt, wie es durch die Kurven der Fig. 3 dargestellt wird.

Will man aber tiefergehende Rückschlüsse ziehen, so wird es doch nötig sein, auf diese Erscheinungen im einzelnen einzugehen.

Obwohl wir es mit einem Gasgemisch aus neutralen Molekülen, positiven und negativen Ionen und Molionen zu tun haben, will ich doch annehmen, was bis zu einem gewissen Grade zutreffen wird, dass die freie Weglänge λ der negativen Ionen umgekehrt proportional dem Drucke p ist. Es ist dann die frei durchlaufene Spannungsdifferenz, wenn ich das Potentialgefälle V nenne, proportional $V \cdot \lambda$ oder proportional V/p , oder mit anderen Worten: Die kinetische Energie der Ionen ist proportional V/p . Die Absorption der kinetischen Ionenenergie ist nun um so grösser je kleiner die Geschwindigkeit, und es fragt sich noch, welcher Potenz der letzteren erstere umgekehrt proportional ist. Das Nächstliegende wäre es, die Absorption umgekehrt proportional der ersten Potenz der Geschwindigkeit zu setzen. Da es jedoch wahrscheinlich ist, dass bei grösserer Geschwindigkeit ein grösserer Betrag der kinetischen Energie absorbiert werden wird — wenn auch nicht der ganze —, so wird man den tatsächlichen Verhältnissen durch die Annahme näher kommen, die Absorption umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Geschwindigkeit zu setzen, also die Absorption proportional $v^{-\frac{1}{2}}$. Nun ist die Geschwindigkeit v proportional der Quadratwurzel aus der kinetischen Energie, v proportional $\sqrt{V/p}$, also die Absorption proportional $1/\sqrt{V/p}$, also ist der für die Erregung der Atome zur Lichtemission allein in Betracht kommende Betrag an absorbiertener Ionenenergie proportional V/p : $\sqrt{\frac{V}{p}} = \sqrt{\left(\frac{V}{p}\right)^3}$. Dieser Grösse wird die Amplitude der Ionenschwingen im Atom proportional sein. Da nun die Lichtintensität I proportional dem Quadrat der Amplitude, so ist bei konstanter Stromstärke I proportional $\sqrt{\left(\frac{V}{p}\right)^3}$. Nehmen wir dazu das vorher erhaltene Resultat, dass bei konstantem Druck I proportional i ist, so folgt als Schlussresultat, dass I proportional $i \cdot \sqrt{\left(\frac{V}{p}\right)^3}$ ist. Diese Schlussfolgerungen würden jedoch nur gelten, wenn sich nicht die Ionenzahl mit dem Druck änderte. Da dies der Fall, so muss uns die Änderung der Grösse $I/i \sqrt{\left(\frac{V}{p}\right)^3}$ mit dem Druck p die Änderung der Ionenzahl mit dem Druck geben. Es wird wahrscheinlich die Ionenzahl angenähert proportional dem Druck

sein, und die Bestätigung dieser Ansicht aus den zuletzt erhaltenen Resultaten wird uns den Rückschluss gestatten, dass wir von richtigen Voraussetzungen ausgegangen sind.

Ich gebe in der nachfolgenden Tabelle III für die verschiedenen Drucke p die aus den Kurven (der Fig. 3) interpolierten Werte des Potentialgefälles V und der Grösse $I/i = C$ und in der vierten Kolumne die daraus berechneten Werte von $1/2 I i \sqrt{\left(\frac{V}{p}\right)^3} \cdot 10^{-5} = C'$.

Tabelle III.

p	$N: \lambda 6069$			$\lambda 5214$		$H: \lambda 6533$		
	V	C	C'	C	C'	V	C	C'
8,0	6340			4,46	10,00	4740	3,50	12,41
7,5	5870			4,61	10,53	4530	3,56	12,00
7,0	5430			4,72	10,92	4330	3,69	12,00
6,5	5070			4,89	11,22	4150	3,82	11,84
6,0	4720	2,21	5,01	5,03	11,40	3990	3,99	11,63
5,5	4390	2,54	5,64	5,20	11,55	3830	4,21	11,44
5,0	4140	2,88	6,04	5,40	11,33	3700	4,42	10,98
4,5	3910	3,22	6,28	5,61	10,95	3570	4,71	10,54
4,0	3700	3,58	6,36	5,82	10,34	3360	5,05	10,37
3,5	3510	3,89	6,12	6,06	9,54	3130	5,43	10,15
3,0	3310	4,23	5,77	6,38	8,70	2890	5,79	9,68
2,5	3120	4,59	5,20	6,79	7,70	2620	6,35	9,36
2,0	2890	4,92	4,48	7,26	6,60	2360	6,84	8,47
1,75	2760	5,10	4,07	7,57	6,04	2180	7,12	8,10
1,50	2640	5,29	3,58	7,87	5,33	2030	7,42	7,45
1,25	2510	5,49	3,05	8,23	4,57	1860	7,79	6,78
1,00	2330	5,72	2,54	8,69	3,86	1690	8,35	6,01
0,75	2110	6,04	2,02	9,16	3,07	1500	9,12	5,11
0,50	1840	6,45	1,44	9,72	2,18	1310	10,21	3,80
0,25	1430	7,10	0,82	10,45	1,21	1140	11,95	1,94
0,10	1100	8,40	0,36	11,60	0,50	1000	13,50	0,67

In der Fig. 4 sind die erhaltenen Resultate graphisch dargestellt; es ist der Druck p als Abscisse, die Grösse C' als Ordinate aufgetragen. Die so erhaltene Kurve zeigt uns also die Abnahme der Jonenzahl mit abnehmendem Druck, oder mit anderen Worten, die Abnahme der Intensität einer Spektrallinie bei konstanter Stromstärke mit abnehmendem Druck, falls die Jonenenergie konstant gehalten wird.

Die beiden Kurven der Intensität der Stickstoffbanden steigen mit abnehmendem Druck zunächst etwas an, biegen dann um und fallen zum Schluss ziemlich gradlinig ab mit abnehmendem Druck; sie gehen ungezwungen durch den O-Punkt des Koordinatensystems. Die Kurve für die Intensität der Wasserstofflinie fällt von vornherein mit abnehmendem Druck, aber in anderer Weise als bei geringeren Drucken, zum Schluss jedoch auch nahezu gradlinig; auch sie geht ungezwungen durch den O-Punkt des Koordinatensystems, dadurch andeutend, dass bei dem Drucke O auch die Anzahl der Ionen O ist, wie es eigentlich selbstverständlich ist.

Wir hatten bisher stillschweigend vorausgesetzt, dass es stets dasselbe Volumen des Gases sei, welches Licht emittiere. Haben wir aber verschiedene Volumina, so sind unter sonst gleichen Versuchsbedingungen (konstante Ionenanzahl und -energie) die Intensitäten des emittierten Lichtes proportional dem leuchtenden Volumen, und falls man stets dieselbe Länge der leuchtenden Schicht hat, proportional dem Querschnitt. Nun war, für den Stickstoff z. B., bis zu Drucken von etwa 3 mm herab, nicht der ganze Querschnitt mit Licht erfüllt. Wir erhalten also, wenn wir von den grossen Drucken ausgehen — unter sonstiger Reduzierung auf konstante Versuchsbedingungen — mit abnehmendem Druck zunächst eine Zunahme der Lichtintensität infolge Zunahme des Querschnitts des leuchtenden Volumens und zugleich eine Abnahme der Intensität infolge der Abnahme der Ionenanzahl mit kleiner werdendem Druck; bei kleinerem Druck, nachdem der Querschnitt nicht weiter wachsen kann, nur eine Abnahme der Intensität infolge der Abnahme der Ionenanzahl. Vergrösserung der Intensität infolge des Anwachsens des Querschnitts und Abnahme derselben infolge des Geringerwerdens der Ionenanzahl werden also — bei hohem Druck — in Wettbewerb mit einander treten. Wie man aus dem Verlauf der Kurven sieht, überwiegt beim Stickstoff zunächst das Anwachsen des Querschnitts, dann die Abnahme der Ionenanzahl, beim Wasserstoff sofort das Letztere, da hier die Ionenanzahl beträchtlicher mit dem Druck fällt, wie es sich aus dem weiteren Verlauf der Kurve ergibt. Man muss auch noch berücksichtigen, dass, solange der Querschnitt noch wachsen kann, dieser beim Stickstoff und Wasserstoff nicht dieselbe Grösse hat. Man könnte den Versuch machen, die

Kurven von kleineren Drucken aus in ihrer Tendenz weiter zu verlängern und damit die Helligkeit durchweg auf gleichen Querschnitt zu reduzieren; doch würde diese Reduktion wegen der mit der Extrapolation notwendig verbundenen Unsicherheit zu sehr unsicheren Resultaten führen, weshalb ich von diesem Versuch abgesehen habe.

Dass die beiden Kurven für den Stickstoff nicht zusammenfallen, findet seine Erklärung z. T. in der Unsicherheit der Voraussetzungen und Nichtberücksichtigung mancher kleineren Einflüsse, z. T. aus dem Folgenden. Es ist ja schon seit längerem bekannt, dass im allgemeinen mit abnehmendem Druck die Teile kürzerer Wellenlänge eines Spektrums gegenüber denen längerer Wellenlänge an Intensität gewinnen, doch können einzelne Teile sich auch anders verhalten, wie es beispielsweise die Messungen an den beiden Stickstoffbanden beweisen, wo die gelbe Bande innerhalb desselben Druckintervalls etwa das Vierfache ihrer ursprünglichen Intensität erreicht hat, während dies für die grüne nur das $2\frac{1}{2}$ fache beträgt (Tabelle I und Fig. 3). Solche Ausnahmen stören aber das Gesamtergebn nicht. Jedenfalls können aber wegen der verschiedenen spektralen Verteilung der Lichtintensität bei verschiedenen Drucken die Kurven für die Abnahme der Jonenzahl mit abnehmendem Druck nicht zusammenfallen, und wir müssen uns damit begnügen, einen ähnlichen Verlauf derselben konstatieren zu können. Da auch bei allen drei Kurven sich für den Druck 0 die Jonenzahl 0 ergibt, scheint mir dies ein Beweis für die Richtigkeit meiner Voraussetzungen zu sein.

Aus den Kurven folgt, dass die Jonenzahl mit wachsendem Druck ansteigt, aber nicht genau proportional dem Druck, sondern, wie von vornherein zu erwarten stand, etwas geringer. Durch eine quadratische Gleichung lässt sich die Kurve nicht in befriedigender Weise darstellen.

d) Gemische von Wasserstoff und Stickstoff.

Es handelte sich bei diesen Versuchen in erster Linie darum, ein etwaiges Auftreten des Ammoniakspektrums festzustellen. Zugleich wurden aber auch qualitativ die Intensitätsänderungen der Spektren der beiden Gase in ihrem Gemisch verfolgt. Genaue quantitative Messungen werden später folgen.

Ich teile im Nachfolgenden die Beobachtungsergebnisse (auszugsweise) mit, wie ich sie bei Drucken von 10 mm an abwärts bis zu 0,1 mm und Stromstärken von etwa 225, 550, 775 und $900 \cdot 10^{-6}$ Amp. erhalten habe. Nach dem Einlassen der Gase, in dem bestimmten Prozentverhältnis, wurde stets eine ausreichende Zeit zur Diffusion derselben mit dem Beginn der Beobachtungen gewartet.

100 % H. Mit abnehmendem Druck wächst die Intensität und zwar für $H\beta$ stärker als für $H\alpha$ und für dieses wieder stärker als für das zweite Spektrum. Die Intensität einer Spektrallinie bei konstantem Druck ist proportional der Stromstärke.

99,5 % H + 0,5 % N. Das Wasserstoffspektrum verhält sich im allgemeinen wie vorher, nur ist seine Intensität bedeutend geringer. Das Stickstoff- und das Ammoniakspektrum sind innerhalb der Versuchsgrenzen nicht zu sehen.

99 % H + 1 % N. Gegen vorher hat das Wasserstoffspektrum noch mehr an Intensität verloren, und zwar am meisten das 2. Spektrum, am wenigsten die grüne Linie, was auch durchweg für das Folgende gilt. Von 2 mm Druck an abwärts treten die violetten Banden des Stickstoffs auf. Das Ammoniakspektrum ist nicht zu sehen.

98 % H + 2 % N. Das Wasserstoffspektrum ist noch weiter geschwächt. Bei 10 mm Druck und grosser Stromstärke treten die violetten Teile des Stickstoffspektrums auf; bei kleinerem Druck geschieht dies schon bei kleinerer Stromstärke. Das Ammoniakspektrum ist nicht zu sehen.

95 % H + 5 % N. Das Wasserstoffspektrum ist gegen vorher wenig verändert. Bei niedrigeren Drucken (etwa von 4 mm an abwärts) ist das Stickstoffspektrum etwas intensiver wie vorher; von 0,5 mm an kommen auch die blau-grünen Banden des Stickstoffs hervor. Das Ammoniakspektrum ist nicht zu sehen.

90 % H + 10 % N. Bei hohem Druck und kleiner Stromstärke ist das ganze Spektrum so lichtschwach, dass nichts zu sehen ist. Das Wasserstoffspektrum ist bedeutend lichtschwächer wie vorher, das Stickstoffspektrum hat an Intensität gewonnen, tritt deshalb bei grossem Druck schon bei kleinerer Stromstärke auf

wie vorher und geht bei kleinerem Druck weiter ins Grün. Das Ammoniakspektrum ist nicht zu sehen.

80 % H + 20 % N. Es herrscht jetzt das Stickstoffspektrum vor; bei hohem Druck ist es noch sehr lichtschwach, und das Wasserstoffspektrum ist garnicht zu sehen. Bei 6 mm Druck und einer Stromstärke von $900 \cdot 10^{-6}$ Amp. tritt zuerst die grüne, dann die rote Wasserstofflinie auf; bei kleineren Drucken geschieht dies schon bei geringerer Stromstärke; bei etwas grösserer Stromstärke tritt hier noch das zusammengesetzte Spektrum auf. Bei kleinem Druck erreicht das Wasserstoffspektrum etwa die Helligkeit des Stickstoffspektrums. Das Ammoniakspektrum ist nicht zu sehen.

65 % H + 35 % N. Bis zu Drucken von 4 mm herab tritt nur das Stickstoffspektrum auf, und zwar zuerst die violetten Banden, später auch die grösserer Wellenlänge. Seine Intensität wächst etwa proportional der Stromstärke und nimmt mit abnehmendem Druck zu, und zwar gewinnen die violetten Banden mehr an Intensität als die gelben und roten, während die grünen hinter diesen zurückbleiben (wie schon die photometrischen Messungen am reinen Stickstoff ergaben). Bei 4 mm Druck und grosser Stromstärke treten zunächst $H\beta$, sodann $H\alpha$ auf; bei kleinerem Druck geschieht dies schon bei geringerer Stromstärke; sie erreichen bei kleinem Druck und grosser Stromstärke noch etwa die Intensität des Stickstoffspektrums. Das zweite Wasserstoffspektrum macht sich nur noch als kontinuierlicher Hintergrund bemerkbar. Das Ammoniakspektrum ist nicht zu sehen.

50 % H + 50 % N. Gegen vorher hat die Intensität des Stickstoffspektrums zugenommen, die des Wasserstoffspektrums abgenommen. Bei denselben Drucken wie vorher treten die beiden Wasserstofflinien erst bei grösserer Stromstärke auf und erreichen nicht mehr die Helligkeit des Stickstoffspektrums. Das zusammengesetzte Wasserstoffspektrum ist nicht mehr mit Sicherheit zu konstatieren. Das Ammoniakspektrum ist nicht zu sehen.

35 % H + 65 % N. Das Stickstoffspektrum gewinnt, das Wasserstoffspektrum verliert immer mehr an Intensität, und dies geht

so fort mit wachsendem Prozentgehalt des Stickstoffs. Die grüne Wasserstofflinie tritt erst bei 2,5 mm Druck und einer Stromstärke von $900 \cdot 10^{-6}$ Amp. auf, bei kleinerem Druck kommt auch die rote hinzu. Das 2. Wasserstoffspektrum fehlt völlig; das Ammoniak-spektrum ist nicht zu sehen.

15 % H + 85 % N. Das Stickstoffspektrum hat bedeutend an Intensität gewonnen, die beiden Wasserstofflinien verloren; sie treten — natürlich schwächer — etwa unter denselben Bedingungen auf, wie vorher. Stets ist die grüne Linie intensiver als die rote. Das Ammoniak-spektrum ist nicht zu sehen.

5 % H + 95 % N. Das Stickstoffspektrum ist intensiver geworden; $H\beta$ tritt erst bei einem Druck von 1 mm und einer Stromstärke von $900 \cdot 10^{-6}$ Amp. auf; $H\alpha$ ist ausserordentlich schwach. Das Ammoniak-spektrum ist nicht zu sehen.

2 % H + 98 % N. Das Stickstoffspektrum ist intensiver, das Wasserstoffspektrum schwächer geworden. Das Ammoniak-spektrum ist nicht zu sehen.

0,5 % H + 99,5 % N. Das Stickstoffspektrum hat an Intensität gewonnen. Die grüne Wasserstofflinie tritt erst bei 0,7 mm Druck und grosser Stromstärke auf; sie ist ganz ausserordentlich schwach; die rote Linie ist garnicht mehr zu konstatieren. Das Ammoniak-spektrum tritt nicht auf.

100 % N. Das Stickstoffspektrum hat noch beträchtlich an Intensität gewonnen.

Beobachtungen bei 500° absoluter Temperatur, die nur in geringer Anzahl angestellt wurden, ergaben keine wesentlich abweichenden Resultate. —

Es ist also unter den hier herrschenden Versuchsbedingungen das Ammoniak-spektrum nicht aufgetreten. Man kann ja nun, nach dem eingangs Erwähnten, allerdings nicht mit absoluter Gewissheit daraus schliessen, dass sich in dem Gasgemisch unter dem Einfluss des elektrischen Stromes nicht vielleicht minimale Mengen Ammoniak gebildet haben sollten; jedenfalls müssen dieselben aber ausserordentlich klein gewesen sein, da auch nicht die geringsten Druckänderungen zu

konstatieren waren, sodass man wohl mit ziemlicher Berechtigung den Schluss ziehen darf, dass unter den hier vorliegenden Versuchsverhältnissen die zersetzende Wirkung des elektrischen Stromes die vereinigende weit überwogen hat.

Im übrigen folgt aus den Beobachtungsergebnissen, dass geringe Zusätze des einen Gases ($\frac{1}{2}\%$) zu dem anderen beträchtliche Intensitätsvermindierungen verursachen, dass aber die Intensitätsverhältnisse der Spektren der beiden Bestandteile des Gasgemisches sehr von den Versuchsbedingungen abhängen. Bei geringem Druck kann z. B. das Wasserstoffspektrum intensiver sein als das Stickstoffspektrum, während bei hohem Druck das Umgekehrte der Fall ist. Eine bedeutende Rolle spielt hierbei auch wohl die Entladungsart und die Form der Geissleröhre. Die gefundenen Resultate behalten also nur unter den gerade obwaltenden Versuchsbedingungen ihre Giltigkeit, während sie sich unter anderen völlig verschieben können. Man kann deshalb nicht ohne weiteres die Resultate verschiedener Beobachter miteinander vergleichen; scheinbare Widersprüche in denselben können sehr wohl durch die geänderten Versuchsverhältnisse bedingt sein.

Auch hier will ich zum Versuch einer Deutung auf die JONENTHEORIE zurückgehen. Es wird das Verhältnis der Lichtintensität der Spektren zweier gemischter Gase einmal abhängen von ihren Partialdrücken, zum zweiten aber auch von ihrer spezifischen Absorption der JONENENERGIE und endlich von der JONISIERBARKEIT der Gase. Es ist also das Verhältnis der Lichtintensitäten zweier Gase eine Funktion der Partialdrücke und der JONENGESCHWINDIGKEITEN, da von diesen die Absorption und die JONISIERBARKEIT abhängt. Da sich das Verhältnis der letzteren mit dem Druck ändert, bei höheren Drücken einen anderen Wert hat, als bei niederen, so werden sich die Verhältnisse der Intensitäten der Spektren der gemischten Gase mit dem Druck ändern. So erlangt z. B. bei einem Gemisch von 65% Wasserstoff und 35% Stickstoff das Spektrum des ersteren bei kleinem Druck die Intensität des Stickstoffspektrums; bei grösserem Druck ist sie geringer, bei kleinerem Druck würde sie grösser werden. War es schon schwierig, diese Verhältnisse im einzelnen für reine Gase zu verfolgen, so häufen sich die Schwierigkeiten der Behandlung der entsprechenden Fragen bei Gasgemischen noch viel mehr, und es wäre verfrüht, auf Grund der

qualitativen Versuche eine Lösung zu suchen, ehe die sicheren quantitativen Ergebnisse vorliegen. —

Herrn cand. phil. WAETZMANN bin ich für seine Hilfe bei den Untersuchungen zu Dank verpflichtet.

Resultate.

Ich fasse die hauptsächlichsten Resultate noch einmal kurz zusammen:

1. Bei reinen Gasen ist die Intensität einer Spektrallinie bei konstantem Druck proportional der Stromstärke.
2. Bei konstanter Stromstärke wächst die Intensität mit abnehmendem Druck zuerst langsam und dann schneller, und zwar für die einzelnen Linien verschieden.
3. Hält man die Stromstärke, die Jonenenergie und das leuchtende Volumen konstant, so nimmt die Jonzahl und damit die Helligkeit mit abnehmendem Druck ab. Sie ist nicht genau proportional dem Druck, sondern wächst etwas langsamer.
4. Die Intensität einer Spektrallinie ist von 300—500 Grad absoluter Temperatur des Gases unabhängig von derselben.
5. Bei Gasgemischen vermindert der Zusatz einer kleinen Menge eines Gases zu einem anderen die Intensität des Spektrums des ersteren bedeutend.
6. Das Verhältnis der Intensitäten der Spektren zweier gemischter Gase ist nicht proportional dem Verhältnis der Partialdrucke, sondern hängt ausserdem von dem Verhältnis der Jonen- geschwindigkeiten ab.
7. Da letztere sich mit dem Druck ändert, ändert sich auch das Verhältnis der Intensitäten der Spektren zweier gemischter Gase mit dem Druck, sodass bei hohem Druck das eine, bei niedrigem Druck das andere die grössere Intensität besitzen kann.
8. Das Verhältnis der Intensitäten ist abhängig von den besonderen Versuchsverhältnissen, dagegen unabhängig von der Temperatur des Gasgemisches.

9. Unter den bei der Untersuchung vorliegenden Versuchsbedingungen tritt in einem Gemisch von Wasserstoff und Stickstoff das Ammoniakspektrum nicht auf. —

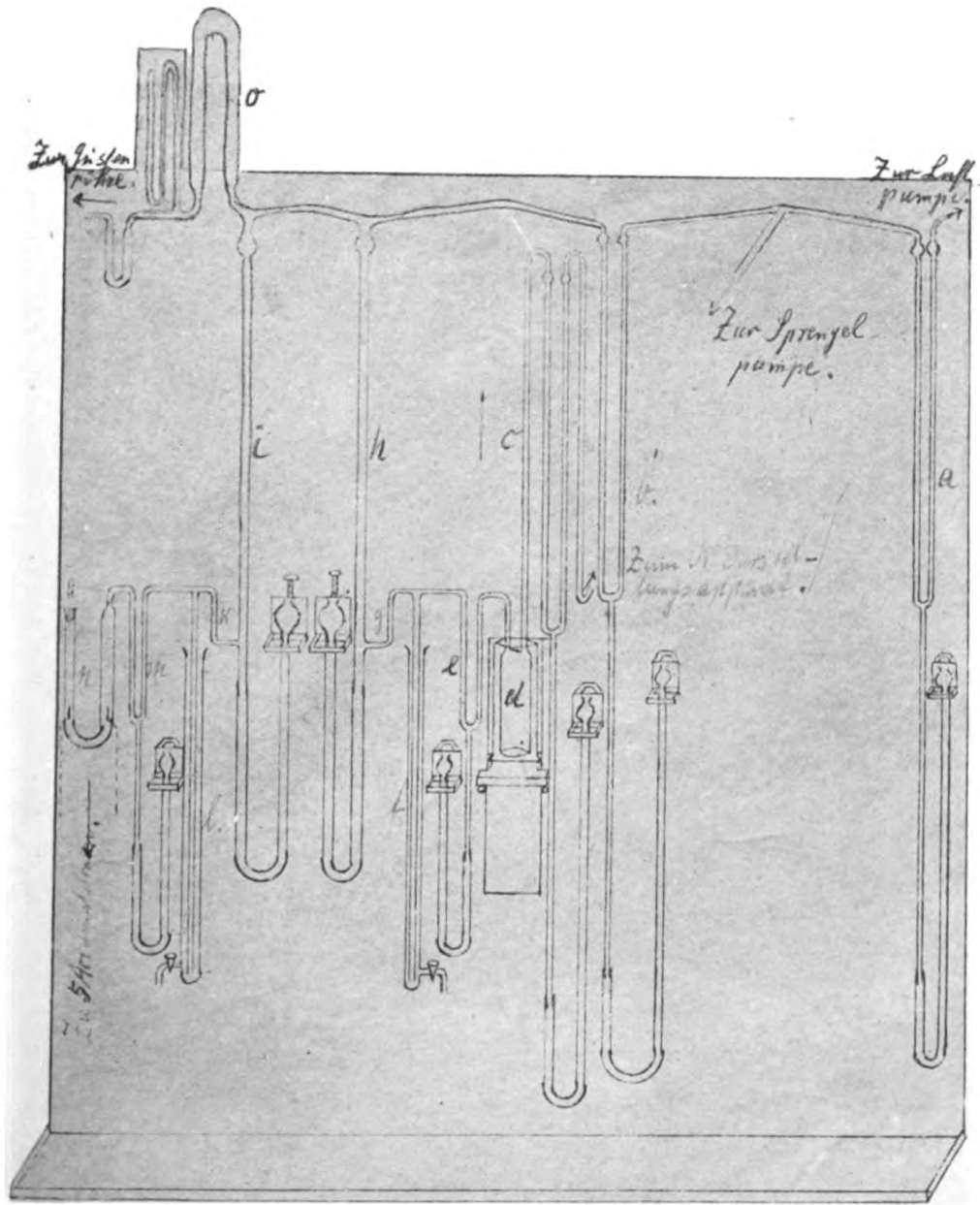
Zum Schluss sei es mir noch gestattet, Herrn Geheimrat Professor Dr. O. E. MEYER für die freundliche Beschaffung der nötigen Hilfsmittel meinen Dank auszudrücken.

Breslau, Physik. Institut, März 1903.

Tafel I.

G. Berndt, Beiträge zur Kenntnis der Gasspektren.

- a*: Das U-Rohr, welches die Luftpumpe zum Vorpumpen vom Apparat absperirt.
 - b*: Das U-Rohr, welches die Sprengelpumpe vom Apparat absperirt.
 - c*: Das U-Rohr, welches den Stickstoffherstellungsapparat vom Apparat absperirt.
 - d*: Stickstoff-Gasometer.
 - e*: Das U-Rohr, welches den Gasometer vom Hilfgasometer absperirt.
 - f*: Hilfgasometer.
 - g*: Verengerte Kapillare.
 - h*: CORNU'sche Anordnung zum Einlassen des Stickstoffs.
 - i*: CORNU'sche Anordnung zum Einlassen des Wasserstoffs.
 - k*: Verengerte Kapillare.
 - l*: Hilfgasometer.
 - m*: Das U-Rohr, welches den Hilfgasometer vom Zersetzungsapparat absperirt
 - n*: Apparat zur elektrolytischen Zerlegung von Phosphorsäure.
 - o*: Trockenröhre mit Natronkalk und Phosphorpentoxyd.
 - p*: Quecksilber-Manometer.
 - q*: Röhre mit Schwefelpulver und Kupferspänen.
-



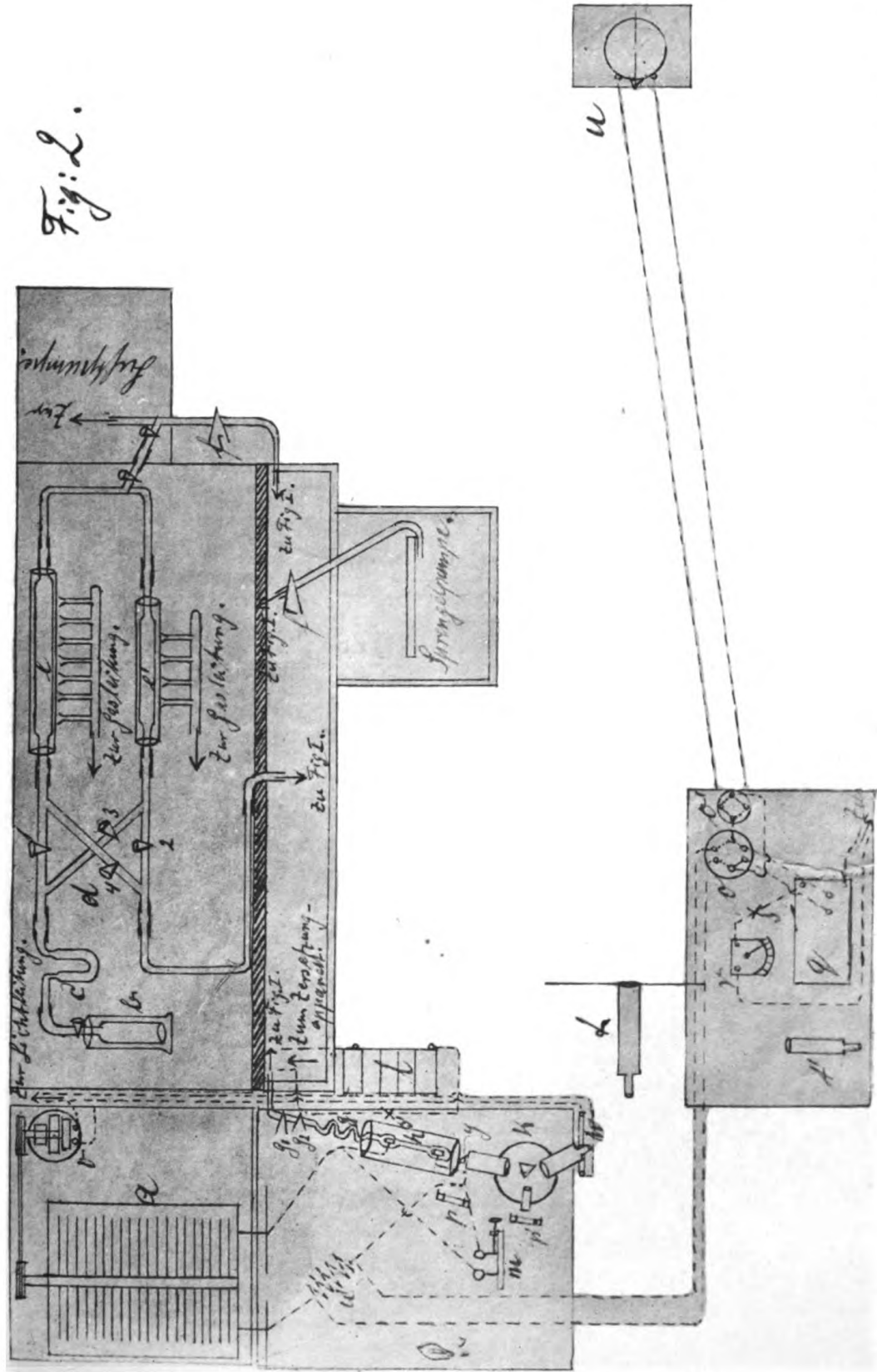
Lichtdruck von Gebr. Plettner, Halle a. S.

Tafel II.

G. Berndt, Beiträge zur Kenntnis der Gasspektra.

Auf dem durch Schraffierung hervorgehobenen vertikal stehendem Brett ist die durch Fig. 1, Taf. I, wiedergegebene Anordnung montiert.

- a*: 20-plattige Influenzmaschine.
 - b*: Stickstoffgasometer.
 - c*: Trockenröhre mit Natronkalk und Phosphorpentoxyd.
 - d*: Kreuzrohr.
 - e*: Röhre mit Kupferspähen
 - e'*: Röhre mit Kupferoxyd
- } zur Stickstoffdarstellung.
- } im eisernen Ofen.
- f*: KUNDT'sche Feder zur Verbindung der Luftpumpe zum Vorpumpen mit dem Apparat Fig. 1.
 - f'*: KUNDT'sche Feder zur Verbindung der Sprengelpumpe mit dem Apparat Fig. 1.
 - g*: 2 m lange Spirale.
 - g*₁ u. *g*₂: KUNDT'sche Federn zur Verbindung der Geisslerröhre mit dem Apparat Fig. 1.
 - h*: Geisslerröhre im Ofen.
 - k*: Spektrophotometer.
 - l*: 5 Akkumulatoren zur Elektrolyse der Phosphorsäure.
 - m*: Funkenmikrometer.
 - o*: 6-napfige Wippe.
 - o'*: 4-napfiger Kommutator.
 - p* u. *p'*: Seidenpapierschirme.
 - q*: Rheostat.
 - r*: Amperemeter.
 - s* u. *s'*: Unterbrecher.
 - t*: Fernrohr zur Galvanometerablesung.
 - t'*: Fernrohr zur Manometerablesung.
 - u*: Galvanometer.
 - u'*: Abzweigwiderstand.
 - v*: Elektromotor.
 - v*: Regulierwiderstand für den Elektromotor.
 - x*: Vergleichs-Glühlampe.
 - y*: Total reflektierendes Prisma vor dem einen Spektrometerspalt.
-



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Tafel III.

G. Berndt. Beiträge zur Kenntnis der Gasspektra.

Fig. 3.

Die Kurven zeigen die Abhängigkeit der Helligkeit bei konstanter Stromstärke vom Druck:

Abcisse: Der Druck in Millimetern.

Ordinate: Die Helligkeit, reduziert auf durchweg gleiche Stromstärke (I/i).

Fig. 4.

Die Kurven zeigen die Abhängigkeit der Helligkeit bei konstanter Stromstärke und Jonenenergie vom Druck (m. a. W.: die Abhängigkeit der Jonenzahl bei konstanter Stromstärke vom Druck).

Abcisse: Der Druck p in Millimetern.

Ordinate: Die Helligkeit, reduziert auf durchweg gleiche Stromstärke und Jonenenergie ($^{1/2} I/i \sqrt{\left(\frac{V}{p}\right)^3 \cdot 10^5}$).

NB. Statt λ 6013 ist zu lesen: λ 6069.

Fig. 3.

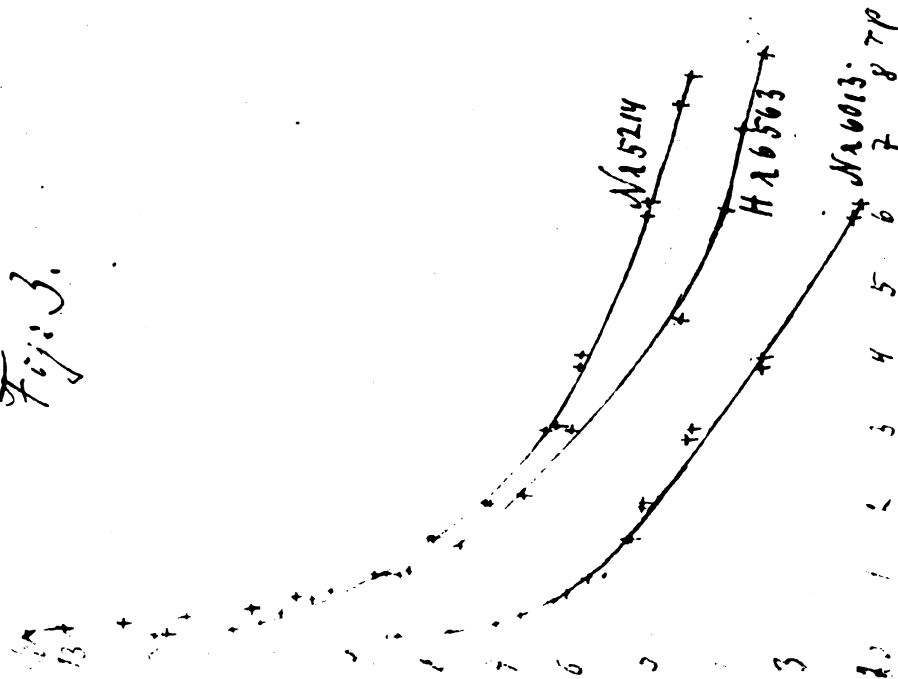
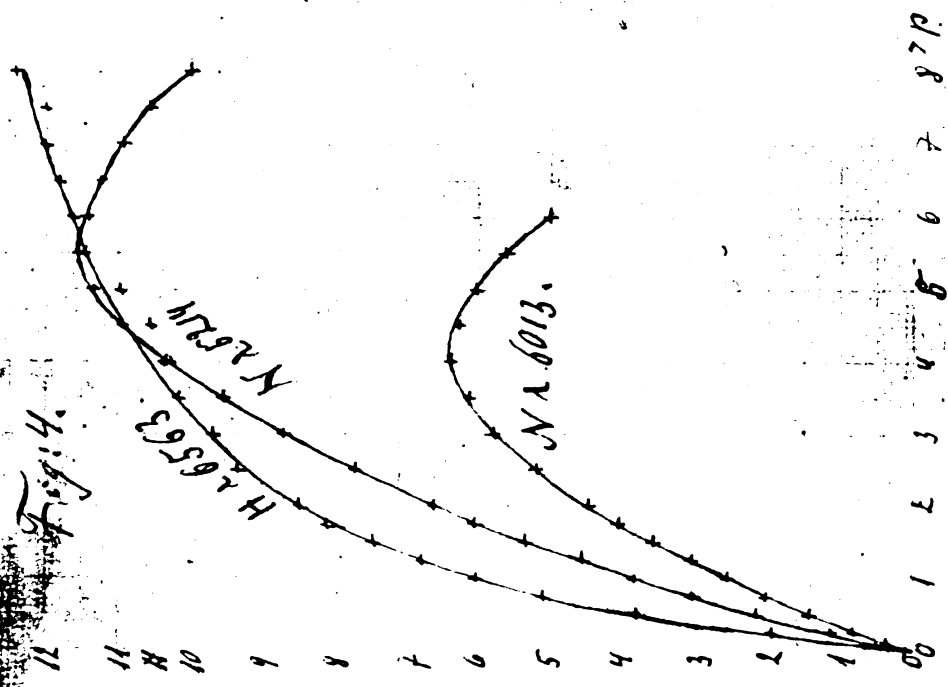


Fig. 4.



1

1

UNTERSUCHUNGEN
AN DER
TESLA-MASCHINE UND
AN TESLA-KREISEN

VON

PROF. DR. K. E. F. SCHMIDT

MIT 9 FIGUREN IM TEXT

Einer Aufforderung des Herrn Vorsitzenden unserer Gesellschaft nachkommend, erlaube ich mir Ihnen im folgenden von meinen bisherigen Untersuchungen über Tesla-Schwingungen zu berichten.

In erster Linie möchte ich an dieser Stelle Herrn HANS HAUSWALDT-Magdeburg für seine Munifizienz meinen herzlichsten Dank aussprechen. Seinem grossem Interesse für physikalische Untersuchungen verdanke ich in erster Linie, wenn es mir möglich war, mich mit den Erscheinungen der Tesla-Schwingungen zu befassen; denn er stellte mir die Mittel zur Verfügung, den Generator und sonstige Hilfsmittel, welche zur Durchführung der Arbeiten nötig waren, zu beschaffen.

Auch Herrn Dr. JULIUS MÜLLER-Halle und Herrn Kand. KARL VOLHARD-Darmstadt, welche mir zeitweise als Volontäre zur Seite standen, sowie meinem jetzigen Assistenten Herrn R. HESSLER möchte ich für ihre Hilfeleistungen besten Dank sagen.

Im folgenden gebe ich zunächst einen allgemeinen Überblick über den Gang und die Resultate meiner Arbeiten. Ausführliche Mitteilungen, besonders auch Darstellung des erhaltenen Zahlenmaterials folgen in den Annalen der Physik.

Mit dem Namen Tesla-Schwingungen will ich allgemein die schnell wechselnden Ströme bezeichnen, welche wie die der Tesla-Maschine entstammenden Ströme eine Frequenz von der Ordnung 10^3 haben.

Diese Schwingungen bieten Gelegenheit elektrische Resonanzerscheinungen unter Bedingungen herzustellen, die besonders übersichtlich und einfach sind und daher vorzüglich geeignet erscheinen, zum Vergleich mit der Theorie benutzt zu werden.

Die grosse Bedeutung des quantitativen Studiums solcher Erscheinungen veranlasste HELMHOLTZ, eine Reihe von Fragen aus diesem Gebiete durch N. SCHILLER 1874 experimentell untersuchen zu lassen.

Als das für die Weiterentwicklung der Fragen hier in Betracht kommende Resultat dieser Untersuchung möchte ich hervorheben, dass in der SCHILLER'schen Arbeit gezeigt wird, wie erheblich der Einfluss nicht absoluter Isolation in dem Dielektrikum der Kondensatoren und der Bewickelung der Induktionsrollen auf den Ablauf der Erscheinungen ist.

Fast 20 Jahre später hat dann HEINRICH HERTZ Herrn V. BJERKNES auf die quantitative Bearbeitung von elektrischen Resonanzphänomenen hingewiesen. BJERKNES hat daraufhin durch mehrere Arbeiten, besonders 1895 durch eine ausführliche theoretische Untersuchung unsere Kenntnis in diesem Gebiete ausserordentlich erweitert. Herr BJERKNES geht bei seinen Untersuchungen von der zuerst von Sir WILLIAM THOMSON entwickelten Theorie der oscillatorischen Entladung eines Kondensators aus. In dieser Theorie spielen die Selbstinduktion und Kapazität eine wichtige Rolle. Da diese Grössen für schnelle Schwingungen nicht mehr allgemeine Giltigkeit besitzen und BJERKNES gerade für solche in erster Linie seine Theorie entwickelt, so verzichtet er in seinen Arbeiten darauf, in den Formeln die Koeffizienten mit jenen Grössen zu identifizieren. BJERKNES führt allgemeine Parameter ein, deren numerische Auswertung dann an der Hand der Beobachtung erfolgt.

So interessant die BJERKNES'sche Arbeit ist, so beseitigt sie nicht den Wunsch, jene Parameter mit den sonst geläufigen Begriffen des Widerstandes, der Induktanz und Kapazität in Zusammenhang zu bringen.

Hierfür schien mir die quantitative Bearbeitung der zuerst von TESLA benutzten Schwingungen, deren Frequenz von der Ordnung 10^3 ist, besonders geeignet, denn für diese sind die Begriffe der Selbstinduktion sowie die der Kapazitäten, ebenso wie bei ganz langsamen Schwingungen noch eindeutig definiert.

Es ist daher von besonderem Interesse, die Resonanzphänomene für solche langsam ablaufende Schwingungen zu verfolgen und einen Vergleich zwischen Theorie und Erfahrung durchzuführen.

Dabei gewinnt man den Vorteil, Resonanzerscheinungen ohne Verwendung von Transformatoren in einfachen Leiterkreisen, also unter denkbar einfachsten Versuchsbedingungen zu erzielen.

Ferner kann man das unbekannte und noch nicht völlig aufgeklärte Element des Funkens ganz ausschliessen, da die Schwingungen

in völlig geschlossenen und nicht durch eine Funkenstrecke unterbrochenen Leiterkreisen zum Ablauf kommen.

Bei den meisten in den letzten Jahren untersuchten elektrischen Schwingungen wurden die Schwingungen immer durch einen Funken eingeleitet, und die Bahn des Funkens bildet¹⁾ einen nicht zu vernachlässigenden Teil der Schwingungserscheinung.

Gelingt es, dieses unbekannt Element der Erscheinung auszuschalten, so muss man zu Versuchsanordnungen gelangen, welche nach verschiedenen Richtungen eine bessere Vergleichung mit der Theorie zulassen, als die bisher durchgeführten Beobachtungen.

Solche Schwingungen hat zuerst TESLA durch einen besonderen Generator erzeugt, um mit ihrer Hilfe die nach ihm genannten hochfrequenten Tesla-Ströme — diese allerdings unter Anwendung des Funkens — hervorzurufen.

Dann hat kürzlich Herr MAX WIEN²⁾ eine Wechselstromsirene beschrieben und zu Versuchen benutzt, um Resonanzwirkungen solcher funkenlos erzeugten Schwingungen zu studieren. Ohne von diesen Untersuchungen Kenntnis zu haben, war ich seit längerer Zeit mit dem Studium solcher Schwingungen beschäftigt und hatte einen grossen Teil der unten mitgeteilten Resultate schon festgelegt. Die Veröffentlichung hielt ich bisher noch zurück, da in dem Zusammenhang des Ganzen noch zuviel Lücken waren, die völlig auszufüllen noch weiterer Arbeit vorbehalten bleiben musste. Viele Fragen werden noch eine strengere und befriedigendere Lösung finden, nachdem im Verfolg des umfangreichen Messungsmaterials die Messapparate für diese Untersuchungen verbessert und vervollkommen sind und dadurch die Untersuchungsmethoden an Schärfe und Zuverlässigkeit immer mehr zugenommen haben.

Ich berühre übrigens die WIEN'schen Resultate nur in wenigen Punkten.

Meine Untersuchungen beschäftigen sich mit der Verteilung und Verwandlung der elektrischen Energie in Schaltungen nach der Anordnung der Teslakreise.

¹⁾ Vgl. darüber: Drude, Physik des Aethers, p. 349.

²⁾ M. Wien, Ann. d. Phys. IV, Bd. IV, p. 425 ff. 1901.

Es wird untersucht, welche Faktoren das Zustandekommen kräftiger Resonanzwirkungen unterstützen und es werden die Bedingungen aufgesucht, unter denen der Energieumsatz mit grösster Ökonomie erfolgt. Aus den Versuchen soll quantitativ der Einfluss der einzelnen Parameter, von denen die Erscheinungen abhängen, abgeleitet und im besonderen festgestellt werden, inwieweit die Parameter sich mit den Werten der Induktion, der Kapazität und des Widerstandes decken. Eingehend wird der eigenartige Ablauf der Spannungs- und Stromstärke-Kurven, welche in den verschiedenen Stromkreisen auftreten, verfolgt und durch verschiedenste Abänderungen der Versuche der Vorgang der Dämpfung bei den Schwingungen zahlenmässig dargestellt.

Ermittelt werden sollen weiter die Verluste an elektrischer Energie, welche im Dielektrikum in Form von Wärme zu Tage treten. Endlich soll auch der Einfluss des Eisens auf diese Schwingungen festgestellt werden.

Der Generator und der Transformator.

Über den Generator soll in einer besonderen Mitteilung ausführlich berichtet werden, es sei hier nur hervorgehoben, dass es möglich war, die Frequenz der erzeugten elektrischen Schwingungen ohne Mühe zwischen den Werten $n = 1600$ und $n = 5200$ (auf die Sekunde bezogen) zu variieren und die einmal hergestellte Frequenz hinreichend lange auf konstantem Werte zu halten. Die Bestimmung von n geschieht nach einer von mir in den Annalen der Physik ¹⁾ beschriebenen Methode. Bei sorgfältiger Durchführung dieser Methode lässt sich die Genauigkeit der Bestimmung von n bis auf 0.4% , d. h. also z. B. bei $n = 2000$ bis auf acht Schwingungen ausführen.

Die Spannung des Generator-Stromes liess sich durch vermehrte Magneterregung bis auf 50 Volt bringen, die Stromstärke bis auf 20 Ampère steigern.

Der Transformator besteht aus zwei Spulen, von denen die primäre Spule zwei Teile zu je 76 Windungen besitzt, welche sich parallel und hintereinander schalten lassen. Über diese sind zwei

¹⁾ K. E. F. Schmidt, Frequenzbestimmung langsamer elektrischer Schwingungen. Ann. d. Phys. IV, Bd. 7, p. 225 ff.

Sekundärspulen von je 3536 Windungen, welche ebenfalls parallel und hintereinander geschaltet werden können, gelagert.

Für die Versuche waren die Primärspulen parallel, die Sekundärspulen hintereinander geschaltet, wie Fig. 1 zeigt. In den sämtlichen Stromleitern war die Anwendung von Eisen vermieden, wodurch die schwer zu verfolgenden Hysteresiserscheinungen ausgeschlossen sind. Nur in den Versuchen, welche die Wirkung des Eisens besonders verfolgen, kam das Eisen in verschiedenster Form zur Verwendung.

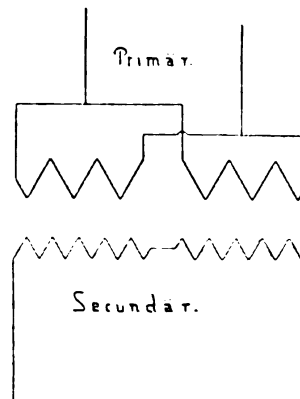


Fig. 1. Schaltungsschema.

Umsetzungsverhältnis. Da die geometrischen Abmessungen der Spulen dem Apparat nicht beigegeben waren, der Apparat auch nicht zu demontieren war, so wurde das elektrische Umsetzungsverhältnis durch den Versuch festgelegt.

Der Versuch wurde in der Weise angestellt, dass bei offener Sekundärspule die Spannung e_{II} an dieser mit Hilfe elektrostatischer Voltmeter gemessen wurde, während gleichzeitig für Spule I Spannung e_I und Stromstärke i_I bestimmt wurden.

Die Messung wurde für die Frequenz der Schwingung $n = 2660$ ausgeführt; eine Kontrollmessung geschah bei $n = 2960$. Aus diesen Versuchen ergaben sich 114.6 als Mittelwert für das Umsetzungsverhältnis.

Um also die der Sekundärspule direkt aufgedrückte Spannung zu finden, hat man die für Spule I gefundene mit der Zahl 114.6 zu multiplizieren.

Die Darlegung der Messmethode und benutzten Instrumente bleibt der ausführlichen Mitteilung vorbehalten.

Ich bemerke, dass bei der bis jetzt durchgeführten Bestimmung die Ampère-Größen auf ca. 0,4—1% genau sind, die hohen Spannungswerte einen Maximalfehler von 2% aufweisen. Voraussichtlich werden aber die im Bau begriffenen Ampèremeter und Voltmeter noch grössere Genauigkeit zulassen.

Die grossen Energie-Mengen, welche der benutzte Generator hervorruft, machen eine Reihe von Phänomenen der Messung zugänglich, die man unter anderen Versuchsbedingungen nicht verfolgen kann.

Verschiebungsströme.

Die Sekundärspule des Transformators wurde geschlossen durch zwei Kondensatoren, c_1 und c_2 Fig. 2, der eine Pol der Spule war mit einer Belegung des ersten Kondensators, der zweite Pol mit einer Belegung des zweiten Kondensators verbunden. Die beiden anderen Belegungen werden entweder durch das Ampèremeter 3 oder durch dieses und einen grösseren Widerstand mit oder ohne Induktanz leitend verbunden. Der Kürze halber nenne ich im folgenden diesen Kreis den tertiären oder Kreis III.

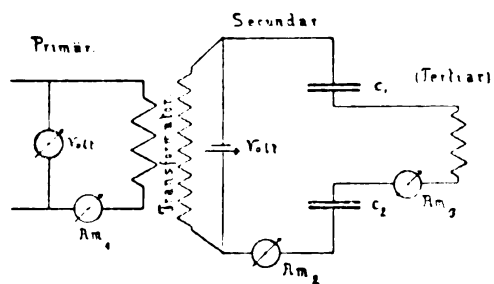


Fig. 2.

Gemessen wurde die Stromstärke im II. und III. Kreise beim Resonanzpunkt sowie unterhalb und oberhalb davon für Ströme mit verschiedener Frequenz und dementsprechend bei verschiedener Kapazität der Kondensatoren.

Das Dielektrikum bestand bei den verschiedenen Versuchen aus Glas, Glimmer oder Ebonit.

Die Stromstärke in Kreis II und III wurde bei sorgfältiger Durchführung der Versuche stets gleich gefunden, wie es nach MAXWELLS Auffassung der Verschiebungsströme zu erwarten steht. Abweichungen, welche öfter beobachtet wurden, sind auf Isolationsfehler zurückzuführen.

Resonanz-Erscheinungen.

Schliesst man den Sekundärkreis des Transformators durch einen Kondensator (Leydener Flasche) Fig. 3, so kann man leicht Resonanzphänomene hervorrufen, durch welche die Spannungs- und Stromstärke-Werte so erheblich gesteigert werden, dass sie bequem der Messung zugänglich sind. Leicht liess sich die ohne Resonanz dem Sekundärkreis aufgedrückte Spannung von ca. 700 — 800 Volt auf den 10—12fachen Betrag bringen und unter geeigneter Schaltung wurden Spannungen bis 25000 Volt erzielt.

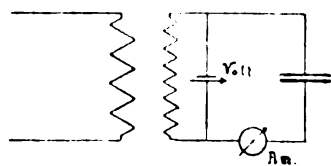


Fig. 3.

Leicht liess sich die ohne Resonanz dem Sekundärkreis aufgedrückte Spannung von ca. 700 — 800 Volt auf den 10—12fachen Betrag bringen und unter geeigneter Schaltung wurden Spannungen bis 25000 Volt erzielt.

Die im Hochspannungskreis auftretenden Stromstärken waren von der Ordnung 10^{-1} Ampère; meist betrug die Intensität 0,1 – 0,2 Ampère, verschiedentlich wurden aber Strommengen bis 0,5 Ampère verwendet.

Beobachtungen um den Resonanzpunkt.

Die Sekundärspule des Transformators war ständig geschlossen durch einen Ebonitkondensator von $87,10^{-5}$ Mi. Beobachtet wurden Spannung und Stromstärke im Primär- und Sekundärkreis, wenn n zwischen 2040 und 3130 stufenweise geändert wurde; für den Resonanzpunkt war $n = 2640$.

Das Resultat der Messungsreihe ist in Fig. 4 dargestellt (S. 10).

In dem Sekundärkreis tritt — wie schon von anderen mitgeteilt ist — ein scharf ausgesprochenes Maximum bei der Resonanz auf.

In dem Primärkreis geht die Ampère-Kurve vor dem Resonanzpunkt durch ein Min., hinter der Resonanz durch ein Max., während die Volt-Kurve an den gleichen Stellen ein Max. bzw. ein Min. zeigt.

Auch die Kurve, welche die durch Multiplikation der Volt- und Ampère-Größen im Primärkreis gewonnenen Werte darstellt, zeigt bei dem Resonanzpunkt ein Max. Wir haben jedoch in diesen Produkten nicht die wirklichen Wattwerte, welche im Kreis I des Transformators aufgenommen sind, sondern diese nur in erster Annäherung: denn auch für den Resonanzpunkt ist bei diesen Versuchsanordnungen noch eine Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung im Kreis I vorhanden.

Die Frage nach der Energieaufnahme in den einzelnen Teilen des Schwingungskreises, deren Lösung den Schlüssel für das Verständnis der Vorgänge in den Schwingungskreisen bildet, kann erst völlig erledigt werden, wenn die Dämpfung in den Kreisen und ihr Einfluss auf die durch Resonanz entstandene Verstärkung vollständig berechnet werden kann. Einstweilen ist es mir aber noch nicht gelungen, Übereinstimmung zwischen Theorie und Rechnung zu erhalten; die erforderlichen Untersuchungen werden augenblicklich weitergeführt.

Die in der Fig. 3 zum Ausdruck kommenden Vorgänge in der Spannung und Stromstärke im Kreis I lassen sich aus dem gleichen Grunde nur in erster Annäherung theoretisch verfolgen.

Verhältnismässig einfache geometrische Konstruktionen ermöglichen dies, wie im folgenden gezeigt wird.

1. Unbelasteter Transformator.

Bei den Versuchen wird dem Anker des Generators eine konstante Spannung = E Volt aufgedrückt, infolgedessen fließt im Primär-

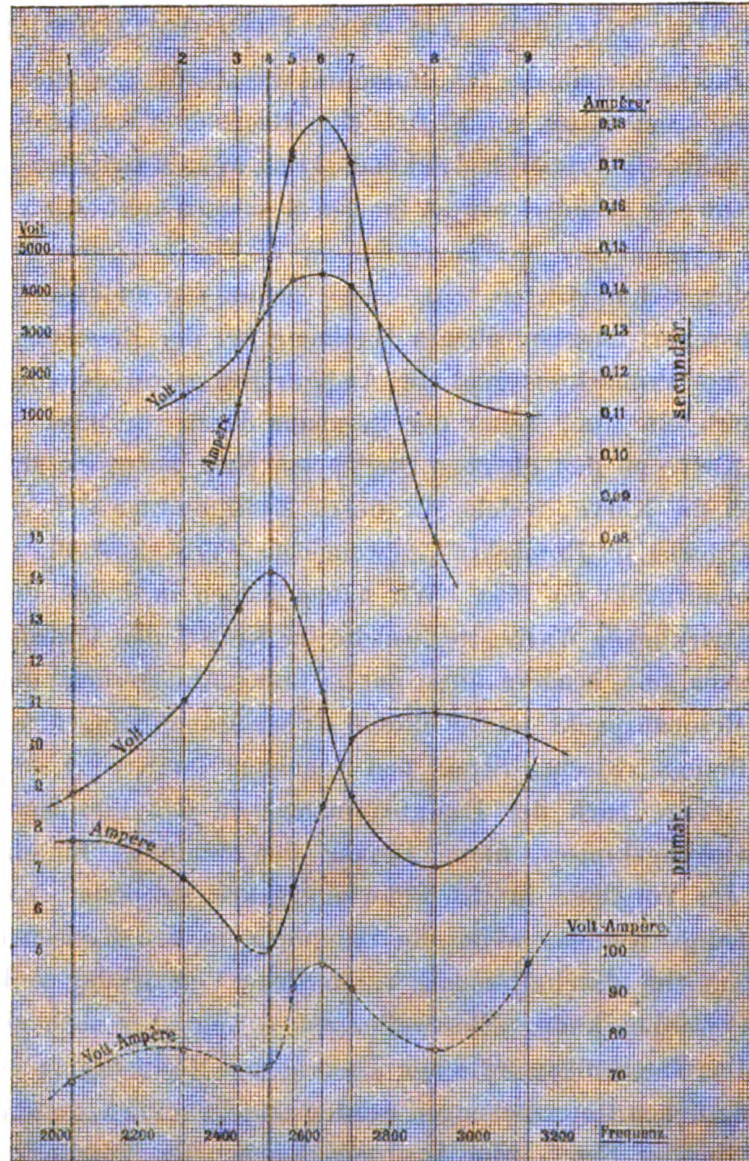


Fig. 4. Strom und Spannungskurven nahe der Resonanz.

kreis ein Strom, dessen Intensität von dem ohmschen Widerstand und der Reaktanz des Kreises abhängt.

Die Leitung besteht aus drei Teilen: 1. dem Anker; 2. der Zuleitung vom Anker zu dem Transformator; 3. der Primärspule des Transformators; der ohmsche Widerstand der ersten beiden Teile sei $w_m = w'_m + w_z$, der der Spule w_i , die aus Induktanz ($L2\pi n$) und Kapazität $\left(\frac{1}{C.2\pi n}\right)$ zusammengesetzte Reaktanz für die ersten beiden Teile x_m für die Spule x_i .

Die in Folge der Spannung e in dem Gesamtkreise entstehende Stromstärke findet sich dann leicht mit Hilfe einer auf Anwendung der komplexen Grössen beruhenden Konstruktion.¹⁾

Man trage in der Achse der reellen Grössen — Achse der Abscissen — die Summe $w_m + w_i$ auf, errichte in dem Ende dieses Vektors die Senkrechte $x_m + x_i$, so stellt die Hypothenuse die Spannung dar, welche den Strom von 1 Ampère bei der Frequenz n zum Fließen bringt und der Winkel zwischen Hypothenuse und der Abscissenachse gibt die Grösse der Phasendifferenz zwischen Spannung und Strom.

Trägt man jetzt in der Richtung der Hypothenuse die Länge e auf und fällt am Ende die Senkrechte auf die Achse der reellen Grössen, so gibt der so bestimmte Abschnitt auf dieser die Stromstärke in Ampère an; die Einheit ist dabei durch die Länge $w_m + w_i$ dargestellt.

Der ohmsche Widerstand des Primärkreises wurde mit Hilfe des FEUSSNER'schen Kompensationsapparates (von OTTO WOLFF, Berlin) während der Stromdurchleitung gemessen, um die Änderungen durch die Stromwärme berücksichtigen zu können.

Für die Messung der Reaktanz war zunächst zu ermitteln, ob der Generatorstrom als einfacher Sinusstrom aufzufassen ist, oder aus einem solchen mit überlagerten harmonischen Gliedern höherer Frequenz besteht.

Herr M. WIEN²⁾ fand bei seiner Wechselstromsirene die erste Oberschwingung mit der Frequenz $2n$ gleich 18% der Intensität der Grundschiwingung.

Wenn bei den zur Untersuchung kommenden Schwingungen die Glieder höherer Frequenz ($2n, 3n, 4n$) etc. wirklichen Einfluss, also

¹⁾ Siehe darüber A. Steinmetz, Wechselstromerscheinungen, Berlin, Reuther & Reichard, 1900.

²⁾ Ann. d. Phys. IV, 4, p. 432.

nachweisbare Intensität besitzen, so musste es möglich sein, analog wie es HELMHOLTZ für akustische Schwingungen erreichte, durch Abstimmung des Resonators auch für diese Obertöne Resonanz zu erzielen. Diese Abstimmung wird so durchgeführt, dass bei konstanter Induktanz L die Kapazität von C auf $\frac{1}{4} C$, $\frac{1}{2} C$, $\frac{1}{25} C$ der Reihe nach verkleinert wurde. In keinem Falle war ein Resonanzphänomen für die Oberschwingungen nachzuweisen.

Auf Grund dieser Resultate dürfen wir die Generator-Schwingungen als wesentlich sinusförmig betrachten und wir können unter dieser vereinfachten Annahme die weiteren Überlegungen durchführen.

Die Grösse der Reaktanz lässt sich wie folgt ermitteln. Bei konstant gehaltener Frequenz und konstanter Magneterregung des Generators wird dem Anker der Maschine eine konstante Spannung E Volt aufgedrückt. Schliesst man nun zunächst nur den ersten und zweiten Teil der Leitung (bestehend aus Anker, Zuleitung zum Transformator und Strommesser) kurz, so erhält man einen Strom J_1 , der gemessen ist durch

$$J_1 = \frac{E}{\sqrt{w_m^2 + x_m^2}}.$$

Fügt man jetzt einen induktionsfreien Widerstand hinzu, so ändert sich, falls sonst keine Änderung eintritt, also die Spannung konstant bleibt, die Stromstärke und wird

$$J_2 = \frac{E}{\sqrt{(w_m + w)^2 + x_m^2}}.$$

Beide Gleichungen kombiniert ergeben den Wert $x_m = L_{11} \cdot 2\pi n$, also da n bestimmbar ist, auch L_{11} für Anker und Zuleitung. Dabei kann J mit der Genauigkeit von 0,4% gefunden werden.

Um den Wert der Reaktanz für die Primärspule des Transformators x_i zu finden, schaltet man statt der Grösse w den Transformator zu und findet

$$J_3 = \frac{E}{\sqrt{(w_m + w_i)^2 + (x_m + x_i)^2}};$$

aus diesem und dem ersten Wert J_1 ergibt sich dann $x_m + x_i$ und somit x_i . Die Reaktanz der Einzelteile setzt sich aus Induktions- und Kapazitäts-Reaktanz zusammen. Der erste Teil musste nach Schätzung der Werte für den Anker und die Zuleitung überwiegen. Ich habe

mich aber auch noch durch einen besonderen Versuch davon überzeugt. Eine zugefügte praktisch kapazitätsfreie Induktanz vermehrte die Reaktanz merklich. Für die Reaktanz der Transformatorspule kommt wesentlich nur die Induktanz in Betracht. Daraus folgt dann, dass im Primärkreis die Spannung dem Strom in der Phase voreilt.

2. Belasteter Transformator.

Schliesst man jetzt die Sekundärspule des Transformators, so fliesst in dieser ein durch Resonanz erheblich verstärkter Strom, welcher merklich auf den Primärkreis zurückwirkt.

Auch in diesem Falle ist es möglich, durch Konstruktion die Daten zu ermitteln. Stellt zu irgend einer Zeit der Vektor i_1 , Fig. 5a,

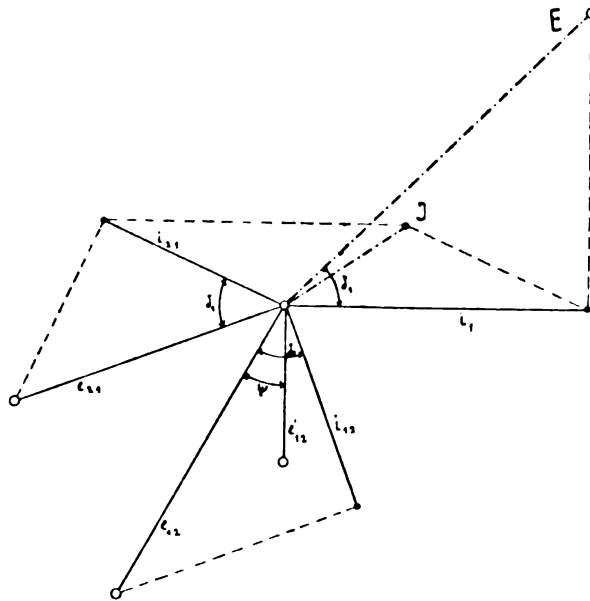


Fig. 5 a.
Transformator diagramm für überwiegende
Kapazitätsreaktanz.

die im Primärkreis herrschende Stromstärke dar, so gibt ein 90° nach-eilender Vektor e'_{12} die der Sekundärspule aufgedrückte Spannung an, deren Betrag $L_{12} \frac{di}{dt}$ ist. Durch Resonanz wird dieser Vektor weiter in seiner Phase verzögert e_{12} ; die Grösse dieser Phasenverschiebung ψ sollte aus der Theorie gedämpfter Schwingungen abgeleitet werden können.

1) $\omega < \bar{\omega}$.

Da die Kapazitätsreaktanz überwiegt, so eilt der Strom der Spannungsphase vor, ist also in der Fig. 5^a entsprechenden Weise einzuzeichnen: Vektor i_{12} . Zu der Stromphase i_{12} ist nun die in Spule I durch II induzierte Spannung um 90° verzögert, somit durch e_{21} dargestellt.

Der zu e_{21} gehörige Strom ist nochmals wegen der Induktanz des Primärkreises um δ_1 verzögert und stellt sich in der Figur durch den Vektor i_{21} dar.

Aus diesem Vektor i_{21} und i_1 resultiert dann der Vektor J , welcher proportional der von den Instrumenten angezeigten Strommenge ist; diese ist für $\omega < \bar{\omega}$ bei den weitaus meisten Vektorstellungen kleiner als i_1 und zeigt ein Minimum in der Nähe des Punktes wo i_{21} gleiche, aber entgegengesetzte Richtung mit i_1 hat.

2) $\omega > \bar{\omega}$.

Der Strom in II ist wegen der grösseren Induktionsreaktanz gegen die Spannung verzögert, der in I induzierte Strom ergibt sich nach den gleichen Konstruktionsprinzipien gemäss der Fig. 5b je nachdem i_{12} mehr oder weniger gegen e_{12} verzögert ist. Die Resultierende J wird ständig zunehmen, das Vorhandensein eines Max.-wertes für J lässt sich mit Hilfe der gegebenen Konstruktion nicht mehr nachweisen.

Eine strengere Ableitung werde ich geben, wenn durch neuere Versuche, welche augenblicklich durchgeführt werden, numerische Werte für die Grösse ψ ermittelt sind.

Kapazitätsreaktanz.

Wenn in der Gleichung $i \sqrt{w^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = e$ die Grössen w und L verschwindend klein werden, so resultiert $\frac{i}{C\omega} = \frac{i}{C2\pi.n} = e$. Daraus folgt für p parallel geschaltete Kreise mit Kapazitätsreaktanz, welche unter gleicher Spannungsdifferenz stehen (für gleiche Frequenzwerte n)

$$\frac{i_1}{C_1} = \frac{i_2}{C_2} = \dots = \frac{i_p}{C_p}$$

d. h. die Stromstärken in parallel geschalteten Stromzweigen stehen im Verhältnis der Kapazitäten der Zweige.

1) Die oben abgeleitete Beziehung besteht auch für Resonanzkreise wie folgende Versuche erweisen:

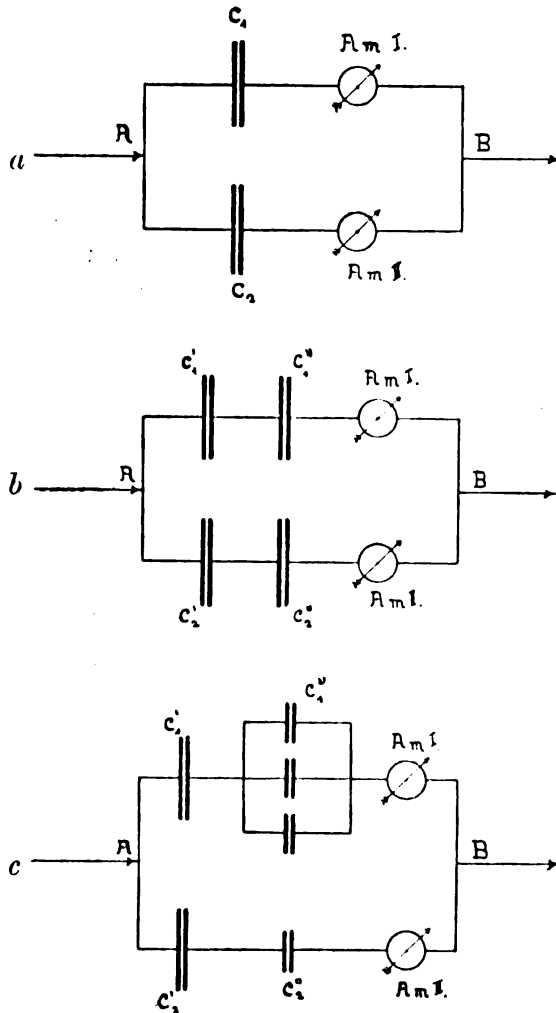


Fig. 6. Kapazitätsreaktanz.

$\frac{1}{3} C_1''$ geschaltet, so dass die Gesamtkapazitäten beider Zweige in dem Verhältnis 3/1 standen.

$$\text{Der Versuch ergab } \frac{i_1}{i_2} = \frac{3}{1} = \frac{C_1}{C_2}.$$

2) Für hintereinander geschaltete Kapazitäten ergibt sich das Verhältnis der Spannungsdifferenzen an den Grenzen des Dielektrikums

Fig. 6a. In den auf Resonanz eingestellten Schwingungskreis wurden zwischen A und B zwei Stromleiter I und II mit gleicher Kapazität $C_1 = C_2$ parallel geschaltet und in jeden Zweig ein Ampèremeter gelegt.

Die für verschiedene Spannungen ausgeführten Versuche ergeben für $C_1 = C_2$ die gleichen Stromstärken in I und II.

Das Resultat bleibt das gleiche, wenn jeder der beiden parallel geschalteten Kreise 2 hintereinander geschaltete Kapazitäten enthält und die Kapazitäten beider Zweige gleich sind (Fig. 6 b).

In den Kreis I (Fig. 6c) wurde hinter die Kapazität c'_1 eine zweite Kapazität c''_1 , in II hinter die gleiche c'_2 eine zweite Kapazität $c''_2 =$

aus obigen zu

$$e_1 : e_2 : \dots : e_p = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \dots : \frac{1}{C_p}.$$

Da diese Gleichung von Interesse für verschiedene Untersuchungen über Tesla-Ströme ist, sind diese Beziehungen genauer experimentell untersucht. Es ergibt sich aus den Beobachtungen völlige

Übereinstimmung mit der Gleichung wie aus der graphischen Darstellung (Fig. 7) ohne weiteres ersichtlich ist. In dem Bilde sind als Abscissen die Werte von $1/C$ aufgetragen, als Ordinaten die beobachteten Spannungsdifferenzen an den Grenzen des Dielektrikum.

Diese Betrachtungen geben zunächst die Möglichkeit, in einfacher und einwandfreier Weise Voltmeter für höhere Spannungen zu aichen.

Da Spannungen von 400 bis 700 Volt meist direkt zur Verfügung stehen, so lassen sich elektrostatische Voltmeter für so niedrige Spannungen ohne Schwierigkeiten aichen. Schaltet man nun in einem auf Resonanz eingestellten Schwingungskreis eine Reihe von Kapazitäten hintereinander und zweigt das geaichte Voltmeter für niedere Spannung und das zu aichende für höhere an den entsprechenden Stellen ab, so kann man innerhalb weiter Grenzen Aichungen durchführen.

Ist z. B. das erste Voltmeter an zwei Punkten abgeschaltet, zwischen denen die Kapazität c_1 liegt, und sind $c_1 c_2 \dots c_p$ die Kapazi-

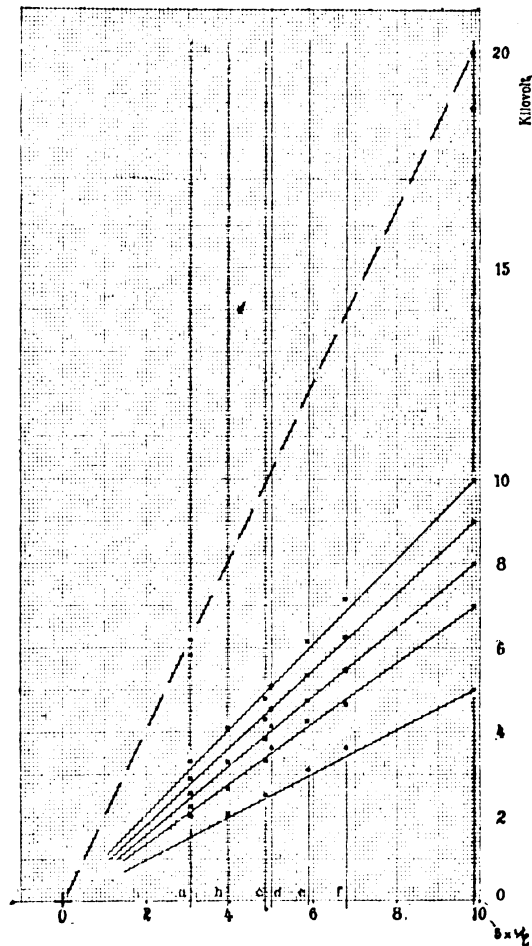


Fig. 7. Spannungsdifferenz an den Grenzen des Dielektrikums.

täten, zwischen denen das Voltmeter für hohe Spannung liegt, so ergibt sich aus obigen

$$e_1/e_2 = \frac{1/c_1}{\sum 1/c_p} \quad \text{also} \quad e_2 = e_1 \frac{\sum_{p=1}^p 1/c_p}{1/c_1}$$

Diese Resultate geben auch die theoretischen Unterlagen für eine praktisch schon benutzte Messmethode, mit Hilfe derer man den Messbereich eines elektrostatischen Spannungsmessers erweitern kann.

Um mit einem solchen Instrument Spannungen zu bestimmen, welche den Messbereich um das 2, 3, 4, 10 etc. fache überschreiten, schaltet man eine entsprechende Kapazität vor das Voltmeter.

Die obigen Auseinandersetzungen ergeben ohne weiteres die nötige Grösse dieses Vorschaltkondensators, wenn die Kapazität des Voltmeters bekannt ist.

Nennen wir diese C und ist das Maximum der mit dem Apparat noch zu messenden Spannung = 10 000 Volt, soll ferner der erheblich höhere Betrag von e Volt (z. B. $e = 100\,000$) gemessen werden, so ergibt sich die Grösse der vorzuschaltenden Kapazität c_x aus der Gleichung

$$c_x = \frac{10\,000}{e - 10\,000} C.$$

Einschaltung von Widerstand in eine verzweigte Leitung.

Wenn in einen der Teilzweige 6000—10000 Ω Widerstand eingeschaltet wird, so sinkt die Stromstärke in beiden Zweigen gleichzeitig und wird in beiden wieder gleich, wenn sie vorher gleich war. Auch die Spannung in dem Gesamtkreis wird herunter gedrückt. Die Erscheinung erklärt sich einfach. Die Kapazitätsreaktanz ist bei den zur Verwendung kommenden Kondensatoren (ca. 0,001 Mi.) und für die Frequenz $n = 3000$, wie aus der Formel $\frac{1}{C \cdot 2 \pi n}$ folgt, gleich $10^{-18} 6,3 \cdot 2 \cdot 10^3$, also von der Ordnung 10^{14} . Das entspricht einem Widerstande von der Ordnung $10^5 \Omega$.

Soll daher durch Einschalten von Widerstand die Stromstärke im ersten Zweige gegenüber der im zweiten geändert werden, so müssen mindestens ca. 100000 Ω eingeschaltet werden. Das Sinken der Intensität und der Gesamtspannung beruht auf dem Einfluss der Dämpfung.

Aus der pag. 15 erwähnten Gleichung $i = e C \cdot 2 \pi n$ folgt, dass in einer Zweigleitung mit verschwindendem Widerstand und unendlich kleiner Induktanz, welche eine Kapazität enthält, die Stromstärke ausser von der Spannung auch von der Frequenz abhängt. Die Stromstärke nimmt mit der wachsenden Frequenz zu und sinkt proportional zu der abnehmenden.

Es ist daher möglich, die Stromstärke in einem solchen Stromzweige durch Frequenzänderung zu variieren, während man die Spannung an den Enden der Leitung konstant hält.

Andererseits erscheint es nach dem bisher Dargestellten ausgeschlossen, durch irgend welche Aenderung in der Gesamtschaltung die Stromstärke in dem die Kapazität enthaltenden Stromzweige ohne Aenderung der Frequenz bei konstant gehaltenem e an den Grenzen des Dielektrikum zu verändern; ein Resultat, welches für Untersuchungen der Energieverluste im Dielektrikum von Bedeutung ist.

Zum experimentellen Nachweis sind folgende Versuche durchgeführt worden:

1. Konstant bleiben: Kapazität und Frequenz;
geändert wird: die Spannung von 5000—10000 Volt.
Resultat:
Die Stromstärke wächst proportional der Spannung.
2. Konstant bleiben: Kapazität und Spannung;
geändert wird: die Frequenz n von 1700—3200.
Resultat: $\frac{\text{Stromstärke}}{\text{Frequenz}} = \frac{i}{n} = \text{konst.}$
Die Stromstärke wächst proportional der Frequenz.

Dämpfung. Eigenresonanz.

In den oben dargestellten Betrachtungen spielt die durch Resonanz erzeugte Verschiebung ψ des Spannungsvektors e_{12} im Sekundärkreis eine wichtige Rolle. Die Kenntnis dieses Wertes ist notwendig, wenn man das Diagramm des Transformators völlig darstellen will. Da es für Schwingungen der hier in Betracht kommenden Frequenz an brauchbaren experimentellen Methoden zur Feststellung dieser Grösse fehlt, so muss die Theorie herangezogen werden. Diese giebt für den Verschiebungswinkel die Gleichung $\operatorname{tg} \psi = \frac{n_1}{n_2^2 - n_1^2} \frac{w}{2\pi \cdot L}$, darin ist n_1 die Frequenz der aufgedrückten Schwingung (identisch mit der primären Schwingung), n_2 die Eigenfrequenz des Kreises II, w sein Ohmscher Widerstand, L sein Selbst-Induktionskoeffizient.

Die Richtigkeit dieser theoretisch abgeleiteten Beziehung kann direkt nicht erwiesen werden; sehr einfach kann dagegen eine aus den gleichen theoretischen Ableitungen folgende Formel mit der Erfahrung verglichen werden. Nennt man für einen einfachen Leiterkreis die durch Eigenresonanz (s. p. 22) verstärkte Stromstärke J , die direkt induzierte Spannung E , so folgert die Theorie

$$J = \frac{E \cdot 2\pi \cdot n_1}{L \sqrt{(n_2^2 - n_1^2)^2 4\pi^2 + \frac{w^2 4\pi^2 n_1^2}{L^2}}}$$

Für den Resonanzpunkt wird $n_2 = n_1$ und

$$J = \frac{E}{w}.$$

Andert man w stufenweise in w' , w'' etc. ohne E und n zu ändern, so ist

$$J : J' : J'' = \frac{1}{w} : \frac{1}{w'} : \frac{1}{w''}.$$

Prüft man diese Verhältniswerte an den aus dem Versuch entnommenen Daten, so findet man die Verhältniswerte w/w' doppelt bis dreifach so gross als die entsprechenden Werte J'/J .

In gleicher Weise findet man keine Uebereinstimmung, wenn man versucht, J mit Hilfe der Formel E/w zu berechnen. Die berechneten Werte sind für geringe Zuschalt-Widerstände fast doppelt so gross

wie die experimentell gefundenen, während sie bei Einschaltung grösserer Widerstände sich den theoretisch ermittelten nähern.

Die Dämpfung wirkt also stärker als die Theorie folgert, ein Resultat, das mit den ermittelten Folgerungen aus anderen Untersuchungen im Einklang steht.

Somit ist es berechtigt, wenn man Bedenken hegt, die Gleichung für $tg \psi$ zur Berechnung von ψ zu verwenden.

Die mit zunehmendem Widerstand erfolgende Abnahme von Spannung und Stromstärke stellt Fig. 8 dar.

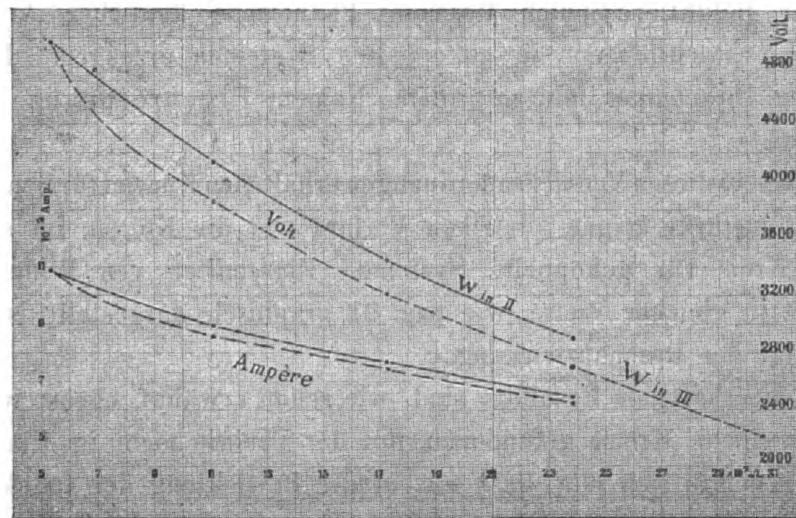


Fig. 8.
Dämpfung der Resonanzwirkung durch eingeschaltete Widerstände.

Von 1100 Ω ab laufen die Kurven nahezu gradlinig.

Ferner ersieht man, dass die dämpfende Wirkung des Widerstandes stärker ist, wenn er in Kreis III eingeschaltet ist.

Die Dämpfung elektrischer Schwingungen ist vielfach Gegenstand der Untersuchung gewesen.¹⁾ Fast sämtliche Beobachter haben gefunden, dass die Theorie zur Erklärung der Erscheinungen nicht hinreicht.

¹⁾ Betreffs der Litteratur verweise ich auf Tallqvist, Dekrement elektrischer Schwingungen, Ann. d. Phys. IV, 9 p. 1083.

Hr. SCHILLER hat (POGG. Ann. Bd. 152, p. 546 ff.) gezeigt, dass man unter Berücksichtigung der nicht vollkommenen Isolation der Dielektrika und des Wicklungsmaterials der Induktionsspulen bessere Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung findet.

Das Gleiche findet Hr. TALLQVIST in seinen ausgedehnten Untersuchungen über elektrische Schwingungen.

In letzter Zeit habe ich Versuchsanordnungen hergestellt, durch welche es möglich geworden ist, brauchbare Resonanzerscheinungen in einfachen Leiterkreisen hervorzurufen.

Schliesst man den Anker der Tesla-Maschine durch einen Kondensator entsprechender Kapazität, so kann man durch Zufügen geeigneter Induktions-Spulen Resonanz-Phänomene ähnlicher Art wie die oben beschriebenen in gekoppelten Systemen erzeugen. Diesen Vorgang bezeichne ich mit dem Namen Eigenresonanz eines Kreises.¹⁾

Die bei diesen Versuchsanordnungen erhaltenen Kurven für Spannung und Stromstärke zeigen ähnlichen Verlauf wie die Kurven im sekundären Kreis für gekoppelte Systeme. Einschalten von Widerstand mindert in gleicher Weise, wie pag. 21 graphisch dargestellt ist, die Intensität der Resonanzwirkung.

Die erhaltenen Resultate sind, wie schon erwähnt, ebenso wie die für gekoppelte Kreise gefundenen, mit der Theorie nicht im Einklang.

Es zeigte sich nun, dass sowohl die Bewicklung der Induktionsspulen, sowie auch das Dielektrikum des zur Verfügung stehenden Kondensators sehr merkliches Leitvermögen besaßen. Hierdurch lässt sich ein Teil der Abweichungen erklären. Weitere Versuche müssen zeigen, wie weit mit den in Bau begriffenen Apparaten, in denen durch Wahl geeigneter Materialien diese Fehlerquelle auf ein Minimum heruntersetzt wird, die Annäherung der experimentell gefundenen Daten an die Werte der Rechnung getrieben werden kann.

Erst nach Erledigung dieser Versuche kann ein vollkommen übersichtliches Bild der Vorgänge in Tesla-Kreisen gegeben werden, so dass dann die gestellten Fragen der völligen Lösung zugänglich werden.

¹⁾ Bei der Korrektur sehe ich, dass schon Herr Wien einen Fall von Eigenresonanz (Ann. d. Phys. IV, 4, p. 435) untersucht hat, was mir bisher entgangen war.

Der Gesamtwiderstand im Leitungskreise vermindert Spannung und Stromstärke der in Resonanz befindlichen Schwingung gleichzeitig; der Widerstand übt also eine dämpfende Wirkung aus.

Dieser Dämpfung gegenüber kommen die anderen Faktoren, welche dämpfende Wirkung hervorrufen, nicht in Betracht. Die Dämpfung durch Strahlung ist nach den Berechnungen des Hrn. PLANCK¹⁾ für meine Versuche unendlich klein. Magnetische Hysterese tritt nicht auf und die Beträge der dielektrischen Hysteresis sind nach meinen Messungen für die weiterhin zur Verwendung kommenden Dielektrika so klein, dass sie vernachlässigt werden dürfen.

Da der Wert des Widerstandes auch in dem einfachen Schwingungskreis nicht unter eine bestimmte Grenze gebracht werden kann, falls die notwendige Energiemenge durch den Generator hervorgerufen werden soll, so wird man bei den Versuchen stets merklich von dem Punkte entfernt sein, wo durch Resonanz ein Ansteigen der Wirkung über alle Grenzen stattfindet. Man muss daher bei diesen Versuchen immer mit einer mehr oder weniger grossen „consumptiven Dämpfung“²⁾ rechnen und kann nur ein Optimum der durch Resonanz verstärkten Werte für Spannung und Stromstärke im Schwingungskreis erwarten. Es ist die Aufgabe weiterer Versuche, die hierfür notwendigen Bedingungen zu finden.

Hierzu wird die Versuchsanordnung für Eigenresonanz wegen der Durchsichtigkeit und Einfachheit der Schaltung gute Dienste leisten.

Funkenstrecke und Spannung.

Für die Bestimmungen sehr hoher Spannungen benutzt man bisher in den meisten Fällen die Länge der Luftstrecke, welche bei der betreffenden Spannung durch den Funken überbrückt wird.

Vergleicht man nun die Messungen verschiedener Forscher,³⁾ so zeigen sich erhebliche Differenzen in den Angaben.

¹⁾ Planck, Ann. d. Physik 63 p. 419 ff. 1897.

²⁾ Planck, Ann. d. Phys. 60 p. 580, 1897.

³⁾ S. darüber Steinmetz, Elektrotechnische Zeitschrift; Heydweiller, Elektrische Messmethoden; Wiedemann, Elektrizität.

Zum Teil werden sich diese Abweichungen durch die Beschaffenheit der Luft erklären lassen, welche nicht für alle Versuche dieselbe gewesen sein wird; inwieweit die Unsicherheit in der Bestimmungsmethode für die Spannung Grund zu Differenzen gegeben hat, lässt sich nicht ohne weiteres beurteilen. Dass hierin eine erhebliche Fehlerquelle liegen kann, schliesse ich auf Grund eigener Beobachtungen.

Die oben dargestellten Versuchsergebnisse eröffnen wegen der ausserordentlichen Regelmässigkeit, mit der die Schwingungen ablaufen, weiter wegen des streng sinusartigen Charakters der Schwingungen, die Möglichkeit im Anschluss an die pag. 17 dargestellte Messmethode genaue Beziehungen zwischen Funkenstrecke und Spannung zu ermitteln.

Auch bei diesen Versuchen sind die grossen Energiemengen, welche in den Kreisen in Bewegung sind, dem Versuche sehr günstig. Die beobachteten Funkenstrecken lassen sich mit überraschender Genauigkeit festlegen; die Einzelwerte der Einstellung weichen oft kaum um 0,05 mm voneinander ab.

Bisher konnte ein Einfluss der in anderen Arbeiten hervorgehobenen Störungen (Luftbeschaffenheit, Anordnung der Leiter etc.) nicht konstatiert werden.

Die bisher erreichte Maximalspannung betrug ca. 30000 Volt. Weiter konnte die Spannung nicht getrieben werden, da anscheinend die Isolation der Apparate nicht mehr ausreicht.

Wegen der starken, der Gesundheit sehr schädlichen Ozonentwicklung, welche bei diesen Versuchen auftritt, musste ich die Arbeit einstweilen abbrechen und kann nur einige orientierende Messungen mitteilen, während ich mir die Veröffentlichung weiterer und eingehender Messungen, welche jetzt ohne weitere Gefahr nach Herstellung geeigneter Vorrichtungen durchzuführen sind, vorbehalte.

Bei konstant gehaltener Spannung wurde zwischen 2 Zinkkugeln von 1 cm Durchmesser für verschiedene Frequenzen n die Funkenlänge l in der Weise gemessen, dass mit Hilfe einer Mikrometerschraube diejenige Stellung der Kugeln bestimmt wurde, bei welcher der erste Funkenübergang stattfand.

Zunächst ist für konstant gehaltene Spannung und verschiedene Frequenz n die zugehörige Funkenlänge ermittelt.

Wurde in den Leitungskreis eine Drahtspule mit grösserer Induktanz eingeschaltet, so änderte sich zwar der Charakter des Funkens, jedoch blieb seine Länge bei konstant gehaltener Spannung die gleiche wie vorher. Innerhalb der Frequenzen zwischen $n = 3010$ und $n = 3530$, d. h. für Frequenzschwankungen von 15 % zeigt die Funkenlänge völlige Konstanz. JAUMANN¹⁾ hat gefunden, dass die Funkenlänge mit $e \frac{de}{nt}$ wächst, das obige Resultat würde dem widersprechen.

Die bisher erhaltenen Werte zeigen teilweise sehr gute Uebereinstimmung mit den Mittelwerten, welche man aus den von HEYDWEILLER und PASCHEN ermittelten Resultaten ableiten kann. Beide Beobachter erzeugten die Funken mit Hilfe der Influenzmaschine.

Energieverluste im Dielektrikum.

Auch zur Beantwortung dieser trotz mannigfacher Bestrebungen noch nicht zum Abschluss gebrachten wichtigen Frage sind die mit dem eingangs erwähnten Generator erzeugten Ströme besonders geeignet, einmal wegen der Möglichkeit, mit kleinen und daher handlichen Kondensatoren zu arbeiten, bei denen man zuverlässig den Gesamtwert der in Wärme verwandelten elektrischen Energie festlegen kann. Dann wegen der grossen Energiemengen, mit denen das Dielektrikum im Resonanzkreise belastet wird, wodurch erhebliche Wärmemengen zur Beobachtung gelangen.

Die Meinungen und Resultate der Arbeiten über diesen Gegenstand gehen noch stark auseinander. Zur näheren Aufklärung scheint eine weitere Bearbeitung der Frage geboten.

Ich habe bisher nur zur Durcharbeitung der Untersuchungsmethoden und zur Konstruktion geeigneter Apparate Zeit gefunden und mit ihrer Hilfe einige orientierende Messungsreihen durchgeführt. Diese ergeben ein gutes Funktionieren der Apparate und sehr befriedigende Uebereinstimmung in den erhaltenen Messresultaten.

Die Methoden liefern nicht nur Vergleichswerte, sondern es ist möglich, die absoluten Beträge der Energieverluste im Dielektrikum mit grosser Genauigkeit und, wie ich denke, einwandfrei zu ermitteln.

¹⁾ Jaumann, Wien, Sitz.-Ber. 97, p. 765.

Zur Auffindung der Gesetze für diese Erscheinungen sind ausgedehnte und längere Zeit erfordernde Messungsreihen notwendig, die in Angriff genommen werden sollen, wenn die oben besprochenen Fragen erledigt sind.

Hierüber wie auch über meine Versuche über den Einfluss des Eisens auf die Tesla-Schwingungen gedenke ich der Gesellschaft später zu berichten.

Halle a. S., Phys. Inst.

ELEKTRISCHE EIGENRESONANZ

(I. TEIL)

VON

PROF. DR. K. E. F. SCHMIDT

MIT 2 FIGUREN IM TEXT

Das Phänomen der Resonanz tritt uns zuerst in der Akustik entgegen. Ich erinnere nur an das Mittönen einer Stimmgabel unter dem Einfluss einer schwingenden zweiten von gleicher Tonhöhe und an die Verstärkung der Schallwirkung, wenn eine Stimmgabel auf einen Resonanzkasten gesetzt wird oder über einen Cylinder gehalten wird, dessen Länge in passender Weise einem ungeraden Vielfachen der Viertel-Wellenlänge des Tones gleichgemacht ist.

In der Elektrizität hat die Resonanz hervorragende Bedeutung seit den Entdeckungen von HEINRICH HERTZ gewonnen. Die von ihm benutzten Beobachtungsmethoden zur Erforschung der Ausbreitung der elektrischen Kraft beruhen grösstenteils auf Resonanzwirkung.

Auch die vor einigen Jahren von TESLA beschriebenen und vielfach wiederholten Experimente verdanken ihre Entstehung der Resonanz. Um endlich noch eine wichtige Erscheinung elektrischer Resonanz zu nennen, erinnere ich an die drahtlose Telegraphie.

Auch in dem Gebiet der Mechanik hat man im letzten Jahrzehnt Vorgänge mit Erfolg als Resonanzphänomene angesprochen, die auf anderem Wege befriedigend nicht erklärt werden konnten. Besonders ist hier zu erwähnen die Übertragung der Bewegung von den umlaufenden Teilen einer Dampfmaschine auf den Schiffskörper, welche zu gefährlichen Resonanzerscheinungen führen kann, wenn eine Periode der Eigenschwingung der Schiffsmasse erreicht wird, ein Problem, das seit OTTO SCHLICK die technische Mechanik lebhaft beschäftigt.

Auch in der technischen Anwendung der Elektrizität sind Erscheinungen bekannt geworden, bei denen die Resonanz unerwartet in höchst schädlicher Weise aufgetreten ist und Wirkungen hervorgerufen hat, die zu schweren Zerstörungen führten.

Um die im weiteren behandelten Fragen besser übersehen zu können, wollen wir an ein Beispiel anknüpfen, welches HELMHOLTZ im Eingang seiner Betrachtungen über die Mechanik des Mittönens behandelt hat.¹⁾

HELMHOLTZ bespricht dort den Fall, wo durch taktmässiges Einwirken sehr schwere Kirchenglocken selbst von der Kraft eines Knaben in lebhaftere Schwingungen versetzt werden — „Glocken von so grossem Metallgewicht, dass der stärkste Mann, welcher sie aus ihrer Lage zu bringen sucht, sie kaum merklich bewegt.“

Die Einleitung der Schwingungsbewegung geschieht hierbei bekanntlich in der Art, dass sich in regelmässigen Zeitintervallen ein Knabe abwechselnd an das vom Glockenhebel herabhängende Seil hängt und wieder los lässt.

Der zunächst sehr kleine Erfolg in der Bewegung der schweren Glocke wird zu einer merklichen Schwingung, wenn die Zahl der kleinen Stösse genügend gross wird.

Die grösste Wirkung erzielt der Knabe in der Weise, dass er sich in dem Moment an das Seil hängt, wenn der Hebel seine Abwärtsbewegung beginnt und das Seil loslässt, wenn der Hebel in die Höhe steigen will.

Jede zu andern Zeitpunkten erfolgende Einwirkung giebt geringere Wirkung und ein zur unrichtigen Zeit erfolgendes Eingreifen kann bald zu einer Zerstörung selbst der stärksten Bewegung der Glocke führen.

Das Beispiel lehrt uns gleich zwei Charakteristika der Resonanz. Es zeigt:

1. Für das Eintreten der Erscheinung ist es notwendig, dass die Schwingungszeiten der aufeinander einwirkenden Systeme übereinstimmen.

2. Die durch den Vorgang der Resonanz erzielte Bewegung ist der einwirkenden gegenüber erheblich verstärkt. Diese Verstärkung ist Gegenstand der folgenden Untersuchung und soll als Resonanz-Verstärkung — abgekürzt *RV* — bezeichnet werden. Zahlenmässig ist sie bestimmt durch das Verhältnis der Intensität der durch den

¹⁾ Helmholtz, Tonempfindungen S. 61.

Resonanzvorgang erzielten Bewegung zu der Stärke der ursprünglichen Bewegung.

Wird die in Schwingung versetzte Glocke sich selbst überlassen, so schwingt sie so lange nach, bis die Reibung in dem Zapfenlager die der Glocke mitgeteilte Bewegungsenergie verzehrt hat.

Es tritt nun die wichtige Frage auf, kann man durch Resonanz eine Bewegung ins Unermessliche steigern oder tritt ein Maximum für die Wirkung und damit für RV auf?

Auch hier giebt unser Beispiel Auskunft. Die gleiche Ursache, welche die Schwingungsausschläge der sich selbst überlassenen Glocke kleiner und kleiner werden lässt, bis die Glocke zur Ruhe kommt, verhindert das Ansteigen der Wirkung ins Unendliche.

Mit der Steigerung der Bewegung der Glocke steigt die reibende Kraft in den Achsenlagern und es tritt schliesslich der Zeitpunkt ein, wo bei jedem Hin- und Hergang der pendelnden Glocke die Reibung gerade die Energie völlig verzehrt, welche der unten am Glockenseil hängende Knabe durch die Schwere seines Körpers der Glocke neu zuführt.

Von diesem Augenblick bleibt die Bewegung der Glocke, wenn sonst nichts geändert wird — konstant; das gesuchte Maximum ist erreicht.

Hat dieses Maximum für alle Systeme den gleichen absoluten Wert? Von welchen Grössen hängt sein Betrag ab?

Unser Beispiel lässt erkennen, dass die Antwort auf diese Frage nicht ohne weiteres gegeben ist.

Für die Reibungsverluste kommen verschiedene Punkte in Betracht; die reibende Kraft wächst mit zunehmendem Druck auf das Achsenlager und mit dem Durchmesser des auf dem Lager ruhenden Zapfens der Drehachse der Glocke; dadurch würden sich für eine Glocke von grosser Masse im allgemeinen grössere Reibungsverluste ergeben. Die Reibung wächst aber auch mit der Geschwindigkeit, dadurch würde für eine Glocke mit kleinerer Masse, welche zur Erlangung annähernd gleicher Resonanzverstärkung entsprechend grössere Geschwindigkeit erhalten müsste, ein gesteigerter Reibungsverlust folgen.

Welchen Wert das Maximum annimmt, kann somit nur durch eingehende Betrachtung des besonderen Falles gefunden werden, indem

man den während einer Schwingung abgegebenen Betrag an lebendiger Kraft festzustellen sucht.

Schon dieses scheinbar so einfache Problem setzt einer strengen Behandlung erhebliche Schwierigkeiten entgegen.

Solche Schwingungen bezeichnet die Mechanik als gedämpfte. Die Dämpfung ist verursacht durch Abgabe eines Teiles der durch den anregenden Impuls zugeführten Schwingungsenergie. Bei langsam ablaufenden Schwingungen (Galvanometernadel) bestimmt man die Dämpfung zahlenmässig durch Angabe des Amplituden-Verhältnisses zweier zeitlich aufeinander folgender Schwingungen,¹⁾ welche das System nach Aufhören der ablenkenden Kraft ausführt.

Für die quantitative Untersuchung von Resonanzerscheinungen sind nun die bei den elektrischen Schwingungen auftretenden ganz besonders geeignet, da hier Messungen von erheblicher Genauigkeit ausgeführt werden können.

Am übersichtlichsten sind die Erscheinungen im Falle der elektrischen Eigenresonanz, welche bei geeigneter Wahl der Kapazität und Selbstinduktion in einfachen Leiterkreisen auftreten.

Über Untersuchungen an solchen wird im folgenden berichtet.

Elektrische Eigenresonanz.

Erregt man in einem nach dem Schema 1 (Fig. 1) geschalteten einfach geschlossenen Leiterkreis — bestehend aus: 1. dem Induktionsleiter I , 2. der Induktionsrolle von dem Selbstinduktions-Koeffizienten L , 3. dem variablen Widerstand W und 4. dem Kondensator, dessen Kapazität $= C$ ist, eine elektrische Schwingung, so entsteht in diesem Kreise Resonanz, wenn die Periode der erregenden Schwingung übereinstimmt mit der Dauer der Eigenschwingung T des Kreises, welche nach der THOMSON-KIRCHHOFF'schen Formel durch $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$ bestimmt ist.

¹⁾ In der Praxis wird bekanntlich meist der Logarithmus des genannten Quotienten für die Rechnung benutzt (logarithmisches Decrement).

Die Einleitung der Schwingung kann einfach dadurch geschehen, dass ein Magnetfeld entsprechender Gestalt und Stärke in der Richtung

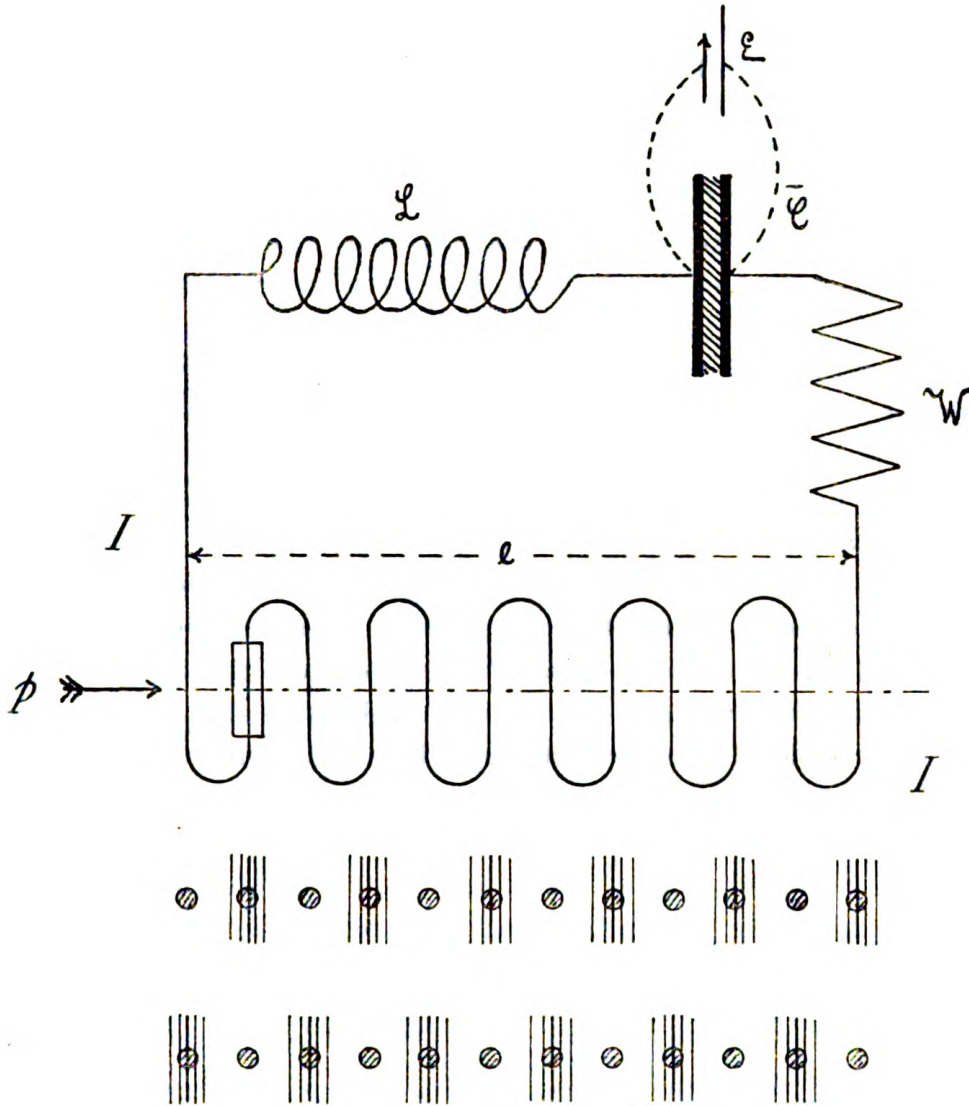


Fig. 1.

Der untere Teil der Figur stellt die Lage des Feldes (angedeutet durch 5 Kraftlinien oben durch das kleine Rechteck hinter Leiterstück 2) in den Zeitpunkten dar, wo die Leiterstücke 2, 4, 6 ... 12 und 1, 3, 5, 7 ... 11 das Maximum der Induktion erfahren.

des Pfeiles p an den Leiterelementen I mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit vorbei geführt wird. Verschiebt sich die Mitte des

Feldes in der Zeit $T/2$ um den Abstand zweier Induktionselemente, so ist für bestimmte Werte L und C ein Maximum der Resonanzverstärkung zu erwarten, denn in diesem Falle steigert jede neu erregte Schwingung die von den vorhergehenden angeregten mit voller Stärke, wie die Schwere des sich aufs neue an das Glockenseil hängenden Knaben in unserm obigen Beispiel die schon erzielte Bewegung der Glocke vermehrt und zu einem Maximalbetrage steigert.

Jede andere Geschwindigkeit des Magnetfeldes ergibt eine geringere Resonanzverstärkung, und der Wert von RV ist um so kleiner, je weiter sich die Geschwindigkeit von dem oben bezeichneten Wert entfernt.

Untersucht wird nun im folgenden, wie die Resonanzverstärkung abhängt von den 3 Kardinalkonstanten des Stromkreises L , C , W . Sämtliche Messungen sind beim Maximum der Resonanz ausgeführt.

Für die elektrischen Schwingungen kann die gesuchte Grösse sowohl für die Spannung wie für die Stromstärke festgestellt werden. Die Untersuchung für die Spannung ist die einfachere, und dem entsprechend habe ich mit dieser begonnen.¹⁾ Misst man die Spannung an den Belägen des Kondensators E und stellt die Spannung e fest, mit der die Schwingung in den Schwingungskreis gelangt, so ergibt E/e die gesuchte Resonanzverstärkung. Eine vollständige Lösung der Aufgabe erfordert aber, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird, auch die Messung der RV für die Stromstärken. Diese Aufgabe kann ich mit den mir augenblicklich zur Verfügung stehenden Messinstrumenten noch nicht erledigen, da ihre Empfindlichkeit nicht ausreicht.

Versuchs - Anordnung.

Die benutzten Schwingungen werden durch eine TESLA-Maschine hervorgerufen.²⁾ Der aus 240 Induktionsleitern bestehende Anker der

¹⁾ Die Strommessung erfordert ein Instrument, dessen Widerstand im günstigsten Falle dem Widerstand des Schwingungskreises gleich kommt, sodass also durch Zufügung des Instrumentenwiderstandes, wie S. 16 u. 17 gezeigt wird, eine erhebliche Verminderung des RV -Wertes eintritt.

²⁾ Die genauere Darstellung der einzelnen Punkte erfolgt in den Annalen der Physik.

Maschine entspricht dem I unseres Schemas (Fig. 2). Die Induktion wird durch 120 Magnetfelder erzeugt, welche bei jeder Umdrehung der Maschine dem Schwingungskreise 120 volle Schwingungen zuführen.

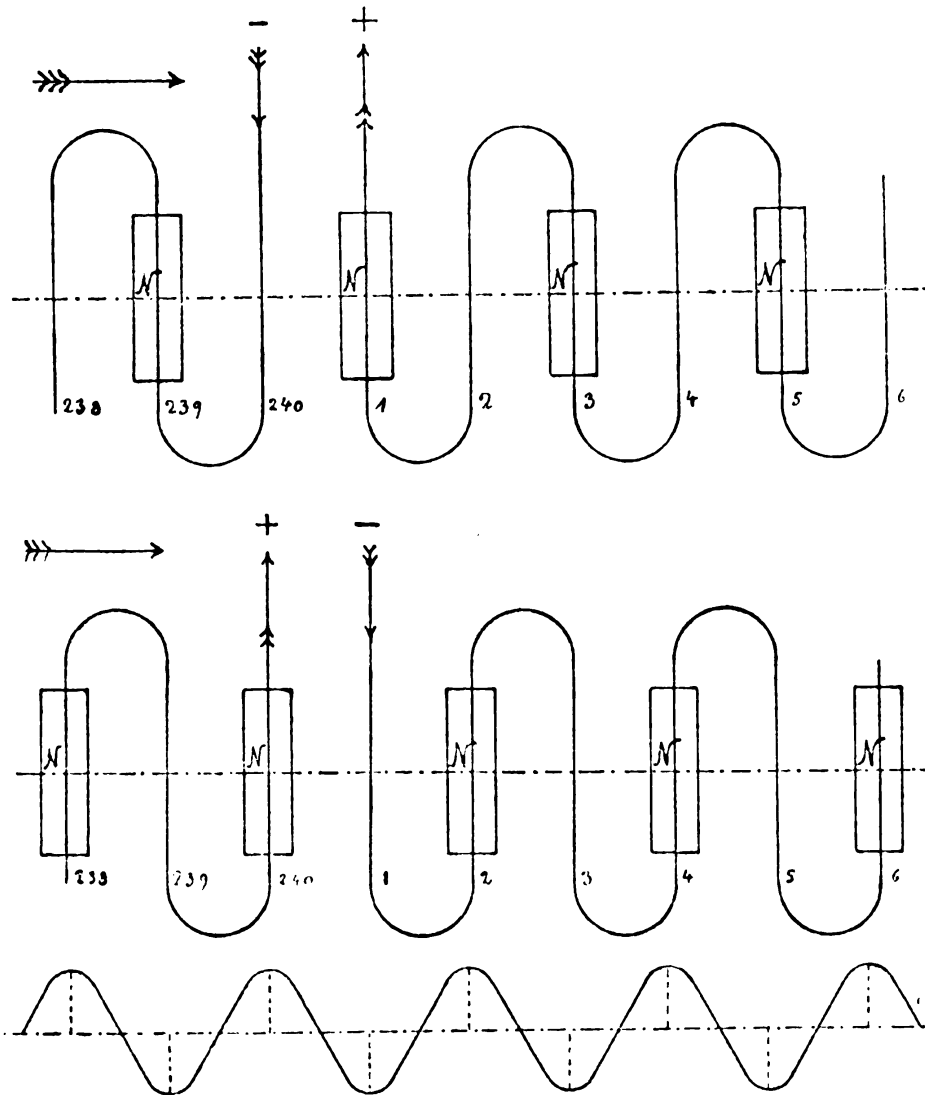


Fig. 2.

Von diesen Teilen sind in Fig. 2 schematisch dargestellt die Induktionsleiter 238 bis 240 und 1 bis 6; im oberen Teile 4 — hinter den Leitern liegende — Polvorsprünge der nordmagnetisierten Eisenscheibe der Maschine, entsprechend 4 induzierenden Magnetfeldern; im mittleren Teile 5 Felder.

Der obere Teil bringt den Zeitpunkt zur Darstellung, in dem die Mitten der Magnetfelder vor den Induktionsleitern 1, 3, 5 . . . 239 vortübergehen und in ihnen das Maximum der Wirkung geben. Gemäss der Induktionsregel müssen bei der Bewegung der Felder im Sinne des oben links stehenden Pfeiles die Leiter 1, 3, 5 etc. von unten nach oben gerichtete Induktionsströme zeigen; Leiter 1 ist also +, Leiter 240 — Pol des Ankers.

Hat die Maschine $\frac{1}{240}$ Umdrehung ausgeführt (halbe Schwingungsperiode), so passieren die Mitten der Felder die Leiter 2, 4, 6 . . . 240 (mittlere Fig.); in diesen findet also das Maximum der Induktion statt und da die Stromrichtung in den einzelnen Elementen die gleiche bleibt, so ist jetzt Leiter 1 — und Leiter 240 + Pol des Ankers. Nach Durchführung von $\frac{2}{240} = \frac{1}{120}$ Umdrehung erfahren wieder die Leiter 1, 3, 5 das Maximum der Induktion; 1 ist + und 240 — Pol des Ankers; gleichzeitig sind in dieser Zeit alle Phasen der ganzen Schwingung durchlaufen.

Der dritte Teil des Schemas bringt die Stromverteilung in den Induktionsleitern zur Anschauung in dem Augenblick, wo die geradzahligen Elemente das Maximum der Induktion erfahren; von unten nach oben fliessende Ströme sind durch positive, von oben nach unten fliessende durch negative Ordinaten gekennzeichnet.

Charakter des Ankerstromes. Für die Messung der Stromgrössen ist die Frage von grosser Bedeutung, ob der Maschinenstrom ein Sinusstrom mit einer Grundperiode ist, oder ob er ausser diesem noch höhere Glieder von 2-, 3-, 4- etc.-facher Frequenz besitzt.

Die Untersuchung wurde in genau gleicher Weise, wie es HELMHOLTZ für die Feststellung der in einem Klang enthaltenen Obertöne mit Hilfe geeigneter Resonatoren getan hat, ausgeführt. Hat die Grundperiode die Frequenz n , so ist $\frac{1}{n} = 2\pi\sqrt{LC}$; für den ersten Oberton ist die Frequenz $= 2n$ und $\frac{1}{2n} = 2\pi\sqrt{LC'}$; $C' = C/4$ ist also die zu L gehörende Kapazität, welche für $2n$ Resonanz hervorruft. Analoges gilt für $C'/9$, $C'/16$ etc.

Schaltet man daher nach Einstellung der Resonanz für die Grundperiode n statt des Kondensators mit der Kapazität C , solche von $C/4$, $C/9$, $C/16$ etc. ein, so muss Resonanz beobachtet werden, wenn Ströme höherer Frequenz in der Schwingung vorhanden sind.

Da in keinem Falle Resonanz bei diesen mehrfach wiederholten Versuchen auftrat, ist der Ankerstrom als rein sinusförmig zu betrachten.

Da die Umdrehungszahl zwischen 15 und 40 in der Sekunde verändert werden kann, so schwankt die Frequenz der zur Verwendung gelangten Schwingungen zwischen 1800 und 4800 in der Sekunde.

Als Induktionsrolle L kommen verschiedene Solenoide aus möglichst dickem Kupferdraht zur Verwendung, so dass die L -Werte zwischen 0.00149 und 0.03113 Henry verändert werden konnten.

Als veränderliche Widerstände wurden Drahtlängen aus Manganin und Platin-Iridium verwendet, beide so angeordnet, dass die Selbstinduktion in ihnen möglichst klein war.

In Stufen konnte der Wert des Zusatzwiderstandes zwischen 0.288 Ω und 2.85 Ω verändert werden.

Die Kapazität der Glimmerkondensatoren konnte in verschiedenster Weise zwischen 0.001 und 4 Mikروفarad abgestuft werden.

Die Messung der Spannung E (am Kondensator) wurde mit einem zuerst von W. THOMSON nach dem Prinzip der Quadrantelektrometer gebauten Multizellular-Voltmeter ermittelt. Das Instrument misst Spannungen zwischen 60 und 100 Volt mit einer Genauigkeit von wenigen Zehnteln des $\%$.

Die Spannung e (Primärspannung) wurde an einem Spiegelhitzdraht-Instrument¹⁾ bestimmt, das in der verwendeten Schaltung die zum Versuch nötigen Spannungen zwischen 1.9 und 4.5 Volt mit einer Genauigkeit von wenigen Zehntel $\%$ ergibt. Die Instrumente geben für elektrische Schwingungen die Werte $E/\sqrt{2}$ und $e/\sqrt{2}$ und somit durch E/e die gesuchte Resonanzverstärkung.

Die Messung der Frequenz geschah nach einer früher von mir beschriebenen akustischen Methode.²⁾ Nach Ausführung einiger Verbesserungen können die Frequenzwerte jetzt mit einer Genauigkeit von 0.1 $\%$ bestimmt werden.

Als Schlussresultat jedes Messungssatzes folgt die Ableitung der Resonanzverstärkung. Jedes Resultat ist aus je 3 Beobachtungen ab-

¹⁾ Konstruktion Hartmann und Braun.

²⁾ Ann. d. Physik IV, 7, S. 225 f., 1902.

geleitet und zur Festlegung der Kurvenpunkte wieder 2 bis 3 solcher Sätze zu einem Mittelwerte vereinigt. Zur Ermittlung der Kontrollpunkte sind 1 oder 2 Sätze verwendet.

Die Abweichungen der gefundenen Zahlen vom Mittelwerte schwanken im Allgemeinen zwischen 0.7 und 1.5 %; der ungünstigste Fall zeigt 1.8 %, die beste Beobachtung dagegen nur 0.05 % Differenz vom Mittel.

Hieraus folgt, dass die mannigfachen Fehlerquellen — besonders hervorgehend aus ungenügender Konstanz der Umlaufgeschwindigkeit und Magneterregung der TESLA-Maschine — bei hinreichender Sorgfalt in ihrer Wirkung sehr herabgemindert werden können, so dass die Resultate einen befriedigenden Grad von Genauigkeit erhalten.

Messung des Selbstinduktions-Koeffizienten L .

Für die bei den Versuchen zur Anwendung gelangenden Frequenzen der Schwingung stösst man auf Schwierigkeiten in der Bestimmung der Grösse L , wenn die Drähte so grosse Querschnitte annehmen, wie ich sie verwendet habe (10 qmm). Zunächst verglich ich die L -Werte der Rollen mit Hilfe der WHEATSTONE'schen Brücke mit einem M. WIEN'schen Normal von $L = 10^6$.¹⁾ Während sich für Rollen aus Drähten bis 0.78 qmm die Messung ohne weiteres durch ein scharf ausgesprochenes Tonminimum ausführen liess, versagte die Methode, als Rollen aus Draht mit 10 qmm Querschnitt zum Vergleich in die Brücke eingeschaltet wurden. Das Minimum war so verwaschen, dass brauchbare Messungen nicht erhalten werden konnten.

Da der 3.57 mm starke Draht der Versuchsrolle eine Isolation von 2.2 mm besitzt, sind die Drahtaxen ca. 8 mm von einander entfernt, während bei dem M. WIEN'schen Normal²⁾ der 1.2 mm starke Draht nur eine dünne Umspinnung von Seide hat, so dass die Drahtaxen ca. 1.3 bis 1.4 mm von einander entfernt sind. Es kommen also zwei erheblich verschieden gestaltete Rollen zum Vergleich. Für das Nichteintreten eines scharfen Min. lassen sich zunächst zwei Momente

¹⁾ Hergestellt von Siedentopf in Würzburg.

²⁾ Ann. d. Physik III Bd. 58, S. 554.

zur Erklärung angeben: 1. kann die, wenn auch kleine Kapazität der WIEN'schen Spule bei der hohen Frequenz von ca. 2000 Veranlassung zu Schwingungen höherer Frequenzen gewesen sein, und 2. können in den Windungen der Versuchsrolle Wirbelströme auftreten; jeder dieser Faktoren würde das Zustandekommen eines scharfen Min. verhindern. Da es nicht ohne weiteres möglich war, diese Störungen zu beseitigen, die Kenntnis der L -Werte aber für die Versuche über Eigenresonanz notwendig war, so habe ich eine andere Methode verwendet, welche die L -Werte absolut zu bestimmen gestattet.

Zu diesem Zwecke wurde der Strom der TESLA-Maschine durch eine verzweigte Leitung geschlossen; der eine Zweig enthielt ein Spiegel-Hitzdraht-Instrument ¹⁾ von 0.655Ω Widerstand (bei 1 Amp. Stromdurchgang) nebst einem induktionsfreien Vorschaltwiderstand von 0.594Ω ; der andere Zweig enthielt ein zweites Spiegel-Hitzdraht-Instrument von 41.595Ω Widerstand und die Versuchsrolle, deren Widerstand 0.19Ω beträgt. Sind nun i_1 und i_2 die Stromstärken, w_1 und w_2 die OHM'schen Widerstände der Zweige, L der Selbstinduktions-Koeffizient des zweiten Zweiges (der des ersten ist = 0), so besteht bekanntlich die Beziehung

$$i_1 w_1 = i_2 \sqrt{w_2^2 + (L 2\pi n)^2}$$

daraus findet man

$$L = \frac{\sqrt{(i_1 w_1)^2 - (i_2 w_2)^2}}{2\pi n i_2} = \frac{\sqrt{\left(\frac{i_1 w_1}{i_2}\right)^2 - w_2^2}}{2\pi n}$$

Die Frequenz n wurde in der Weise auf 3000 gebracht und konstant gehalten, dass der Strom der Maschine in ein Telephon geleitet wurde und der Telephonon auf eine Stimmgabel von 3000 Schwingungen mit Hilfe der Schwebungen abgestimmt wurde. Dieser Zustand liess sich während der Dauer eines Versuches konstant halten.

Auf diese Weise wurden an 3 Tagen aus je 3 Einzeleinstellungen folgende Werte für L der aus ca. 100 m des oben genannten Drahtes gewickelten Rolle von 180 Windungen ermittelt:

¹⁾ Die Aichung der Hitzdraht-Instrumente geschah mit Hilfe eines Feussner'schen Kompensations-Apparates. Die zu messenden Werte sind bis 0.2—0.3% genau.

23. X. 1903	$L = 3.3388 \times 10^6$
25. X. 1903	$L = 3.3346 \times 10^6$
27. X. 1903	$L = 3.3312 \times 10^6$
	$\text{Mittel} = 3.3349 \times 10^6$

In letzter Zeit ist dann der L -Wert der gleichen Rolle noch mit Hilfe der THOMSON-KIRCHHOFF'schen Formel $\frac{1}{n} = 2\pi\sqrt{LC}$ bestimmt, indem die Rolle nebst einem Glimmerkondensator ($C = 0.5 \text{ Mi}$) in den S. 6 beschriebenen Schwingungskreis eingeschaltet und die für Eigenresonanz notwendige Frequenz in der S. 75 erwähnten Weise ermittelt wurde. Die an zwei verschiedenen Tagen gefundenen Werte sind folgende:

10. XII. 1903	$L = 3.386 \times 10^6$
14. XII. 1903	$L = 3.290 \times 10^6$
	$\text{Mittel} = 3.338 \times 10^6$

Der ersten Methode ist ohne Zweifel die grössere Genauigkeit zuzuschreiben, und die gute Übereinstimmung der Werte zeigt, dass bei sorgfältiger Durchführung der Versuche auf diesem Wege auch bei hohen Frequenzen sehr genaue L -Werte gefunden werden.

Die Übereinstimmung der durch die beiden gänzlich verschiedenen Methoden gefundenen L -Werte gewinnt an Interesse durch eine inzwischen erschienene wichtige Arbeit des Herrn F. DOLEZALEK über Präzisionsnormale der Selbstinduktion.¹⁾

Ich werde an anderer Stelle ausführlich auf gewisse Differenzen zwischen unsern Untersuchungen zurückkommen.

Resultate der Beobachtungen.

1. Die Resonanzkurve.

Für die Feststellung der Resonanzkurve habe ich nur einige orientierende Messungen vorgenommen, da der Charakter dieser Kurven durch Beobachtungen Anderer und meine früheren für gekoppelte

¹⁾ Ann. d. Physik IV Bd. 12, S. 1142 ff., 1903.

Systeme genügend untersucht ist. Die für diese gefundenen Kurven unterscheiden sich insofern merklich von denen für die Eigenresonanz ermittelten, als die durch Messung nachweisbare Resonanzwirkung auf ein Intervall von ca. 600—700 Schwingungen verteilt ist,¹⁾ während sich die Wirkung der Eigenresonanz auf ein Intervall von 70—80 Schwingungen beschränkt.

Ferner ändert sich RV im ersten Falle um ca. 4 %, wenn die Frequenz sich um 90 Schwingungen vom Punkte des Maximums entfernt; während für die Eigenresonanz eine Abweichung von 10 Schwingungen genügt, um RV ca. 25 % vom Maximum abfallen zu lassen.

Die Resonanzkurve ist also für Eigenresonanz erheblich steiler als die für gekoppelte Systeme und die „Empfindlichkeit“ des Kreises für Resonanzwirkung ausserordentlich gesteigert.²⁾

Wurde der OHM'sche Widerstand des Kreises künstlich vergrössert und damit die Dämpfung verstärkt, so flachte sich die Resonanzkurve beträchtlich ab. Die Zunahme des Widerstandes von 0.284 Ω auf 0.879 Ω ergab nur noch eine 6prozentige Abnahme von dem zu 0.879 Ω gehörenden Maximumwerte RV , wenn die Frequenz sich um 10 Schwingungen änderte. Die Empfindlichkeit für Resonanz nimmt also mit steigender Dämpfung ab, eine Bemerkung, welche HELMHOLTZ schon in seinen Tonempfindungen hervorhebt.

2. Einfluss der Selbstinduktion (L).

Bei den Versuchen bleiben konstant: Kapazität (C) und Widerstand (W) der Leitung. Die ermittelten Resultate ergeben sich aus folgenden Tabellen:

¹⁾ Bei dem in Fig. 4, pag. [48] dieses Bandes dargestellten Falle lag n zwischen 2300 und 2900.

²⁾ Diese Tatsache hat für den Experimentierenden zur Folge, dass die Feststellung der nötigen Daten für die Eigenresonanz mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist; denn der Umlauf der TESLA-Maschine durfte zur Erzielung richtiger Werte nicht um 0.1 bis 0.2 % schwanken und musste mit entsprechender Genauigkeit eingestellt werden.

I. $C = 1.5 \text{ Mi}$, $W = 0.28 \Omega$.

L	RV
0.0015 Henry	30.105
0.00236 „	30.11
0.00335 „	31.64

II. $C = 0.42 \text{ Mi}$, $W = 1.59 \Omega$.

L	RV	RV umgerechnet für $W = 0.28 \Omega$
0.00507 Henry	21.12	38.93
0.0313 „	35.34	65.15

Beide Zusammenstellungen geben ein deutliches Anwachsen der Resonanzverstärkung mit grösser werdender L .

Um das vollständige Gesetz zu finden, müssen noch andere Induktionsrollen angefertigt werden. Zwar standen noch Rollen zur Verfügung, deren L -Werte 0.01068 und 0.01753 Henry betragen. Letztere Rolle ergab für RV den Wert 15.74, der erheblich kleiner als der für $L = 0.00507$ gefunden ist, während ein wesentlich grösserer zu erwarten war.¹⁾ Dieses Resultat erklärt sich so: Die für den Versuch benutzte Rolle hat 6 Lagen mit 432 Windungen, welche über 10 Lagen mit 718 Windungen gewickelt sind. Der Draht hat 2 mm Durchmesser und ist mit gewachster Baumwolle umspunnen. Nimmt man an, dass der Rolle durch die grosse Nähe der Drähte eine zwar kleine, aber bei der hohen Frequenz merkliche Kapazität zukommt, so muss durch Induktion der äussern auf die innere Rolle ein Strom entstehen, der einen Teil der Schwingungsenergie verzehrt und eine merkliche Dämpfung veranlasst, wodurch RV stark herabgemindert wird. Dieser Induktionsstrom muss zur vollen Stärke gelangen, wenn die Enden der innern Rolle durch einen kurzen Draht verbunden werden. Wie erwartet sank hierdurch RV so erheblich, dass der Wert mit dem Multizellular-Instrument nicht mehr beobachtet werden konnte. (Siehe darüber weiter S. 18.)

¹⁾ Orientierende Messungen mit den jetzt fertigen Rollen ergaben folgendes Anwachsen der RV ($C = 0.5 \text{ Mi}$, $W = 0.99 \Omega$):

$L = 0.0032 \text{ Henry}$	$RV = 23.74$	$L = 0.0204 \text{ Henry}$	$RV = 39.39$
$L = 0.0034 \text{ „}$	$RV = 24.14$	$L = 0.0309 \text{ „}$	$RV = 47.65$
$L = 0.0105 \text{ „}$	$RV = 31.34$		

3. Einfluss der Kapazität.

Konstant bleiben Widerstand w und Selbstinduktion der Leitung; geändert wird die Kapazität C . Zur Verfügung standen 6 Glimmer-Kondensatoren,¹⁾ deren Kapazitätswerte folgende Reihe ergibt:

Nr. 1	$C = 0.4852$ Mi	Nr. 4	$C = 0.9837$ Mi
„ 2	$C = 0.4879$ „	„ 5	$C = 0.9960$ „
„ 3	$C = 0.4927$ „	„ 6	$C = 1.0000$ „

Bei den Vergleichsmessungen mit der WHEATSTONE'schen Brücke diene Nr. 6 als Vergleichsnormale; die Messung wurde mit Schwingungen von der Frequenz $n = 2000$ ausgeführt.

Die erhaltenen Messresultate sind folgende:

I. $L = 0.003335$ Henry, $w = 0.283 \Omega$

C	RV	C	RV
0.5 Mi	30.57	1.5 Mi	32.65
0.6 „	30.84	2 „	33.25
0.75 „	30.73	2.484 „	34.57
0.9 „	31.09	2.98 „	34.85
1.0 „	31.37	3.478 „	35.70 ²⁾
1.2 „	31.47		

II. $L = 0.001498$ Henry, $w = 0.292 \Omega$

C	RV	C	RV
1.50 Mi	27.52	2.484 Mi	29.03
1.75 „	29.66	2.98 „	28.81
2.0 „	29.44	3.478 „	28.07

Der Einfluss der Kapazität ist nach diesen Beobachtungen bei verschiedenen L -Werten verschieden. Bei dem grösseren L -Werte steigen die RV -Werte mit zunehmender C ständig. Die für einen

¹⁾ Sämtliche Kondensatoren entstammen der Firma Siemens & Halske. Nr. 1 bis 4 sind mir in entgegenkommendster Weise von der Firma leihweise überlassen, wofür ich auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank ausspreche. Bei Nr. 5 kann C durch Stüpselung von 0.001 bis 0.996 variiert werden.

²⁾ Bei den letzten 3 Beobachtungen ist $W = 0.290 \Omega$ zu setzen; die RV -Werte werden dadurch nicht merklich beeinflusst. Die C -Werte von 0.5 bis 2 Mi sind um 0.004 zu verkleinern, um an das Normal angeschlossen zu werden.

kleineren L -Wert geltende II. Tabelle zeigt dagegen für RV ein zwischen 1.75 und 2.0 Mi liegendes Maximum.

Es ergeben somit die Beobachtungen ein verwickeltes Gesetz der Abhängigkeit RV von der Grösse der Kapazität des Leitungskreises.

Um die Frage mit Nutzen weiter verfolgen zu können, müssen zunächst die Beobachtungen der RV für die Stromintensität durchgeführt werden.

4. Einfluss des Widerstandes.

In dem oben beschriebenen Leitungskreise sind Zuleitungsdrähte und der Draht der Induktionsspule so gewählt, dass der Oum'sche Widerstand möglichst klein ausfällt.

Es beträgt:

der Widerstand für Maschinenanker + Zuleitung zum

Umschalter + Anschlussdrähte 0.0907 Ω ¹⁾

der Widerstand der Induktionsrolle für 0.003335 Henry . 0.1907 Ω

also Gesamt- $W = 0.2814 \Omega$

Durch diesen kleinen W -Wert ist die JOULE-Wärme und damit die Dämpfung nach Möglichkeit verringert und die Resonanzverstärkung entsprechend begünstigt.

Um den Einfluss des Widerstandes auf RV zu untersuchen, wurde der Widerstand durch Zufügung entsprechender Drahtlängen stufenweise vergrössert. Zur Verwendung kamen Widerstände aus Platin-Iridium und Manganin.

$L = 0.003335$ Henry, $C = 1.5$ Mi

1. Zuschaltung der Platin-Iridium-Widerstände.

W ²⁾	RV	W	RV
0.288 Ω	31.69	1.611 Ω	16.96
0.456 „	28.23	1.943 „	15.15
0.617 „	25.78	2.271 „	13.69
0.959 „	21.84	2.594 „	12.60
1.297 „	18.80	2.852 „	11.28

¹⁾ Gemessen bei 1 Ampère Stromstärke.

²⁾ Gesamtwiderstand des Schwingungskreises.

2. Zuschaltung der Manganin-Widerstände.

W	RV	RV Pt-Ir (berechnet) ¹⁾	Abweichung
0.284 Ω	31.79	31.60	0.64 ‰
0.399 „	29.16	29.22	0.21 „
0.501 „	27.78	27.45	1.9 „
0.954 „	22.34	21.86	2.17 „
1.714 „	16.39	16.47	0.49 „
2.198 „	14.36	14.07	2.03 „

Die Übereinstimmung beider Reihen ist mit Rücksicht auf die Schwierigkeiten der Versuche und die mancherlei Fehlerquellen völlig befriedigend.

Die Abnahme der RV -Werte mit wachsendem W erfolgt nach einem nahezu parabolischen Gesetze:

$$(a - RV)^p = b \cdot w^q$$

wo a , b und p , q Konstante sind und p/q nahezu = 2 gesetzt werden kann.

Um die Dämpfung zahlenmässig exakt auszudrücken, reicht aber die Betrachtung des Widerstandes allein noch nicht aus; denn die in der Zeit 1 entwickelte JOULE-Wärme ist durch $i^2 \times w$ gemessen. Es ist also noch die Messung der Stromstärke erforderlich, um die durch den Leitungswiderstand veranlasste Energieabgabe der Schwingungen vollständig darzustellen.

5. Dämpfung der Schwingungen, welche nicht durch Leitungswiderstand erzeugt sind.

Die grosse Empfindlichkeit, welche die elektrische Eigenresonanz gegenüber geringfügigen Änderungen in den Versuchsbedingungen zeigt, macht die Beobachtungen zur Durchführung verschiedener Untersuchungen besonders geeignet.

¹⁾ Erhalten durch Interpolation aus der graphischen Darstellung der für den Pt-Ir-Draht gefundenen Werte.

Im folgenden berichte ich über einige vorläufige Beobachtungen von Dämpfungserscheinungen, welche nicht durch Leitungswiderstand hervorgerufen sind.

In den 12 cm Durchmesser und 30 cm Höhe haltenden Hohlraum der Induktionsrolle wurden der Reihe nach verschiedene Substanzen eingeführt; ¹⁾ gemessen wurde die Spannung am Kondensator E_{max} vor und E nach der Einführung; aus $\frac{E_{max} - E}{E_{max}}$ folgt dann die prozentuale Änderung der Resonanzverstärkung.

I. Einführung von Spulen.

a) Eine Spule von 900 Windungen aus 0.3 mm starkem Draht in Paraffin gebettet. Länge der Wickelung ca. 8 cm, innerer Durchmesser der Spule 2.2 cm, äusserer 5.2 cm.

	E	E_{max}	Abnahme RV
Enden offen	90.4 Volt	93.5 Volt	3.38 %
„ verbunden	88.2 „	94 „	6.36 „
„ an 0.5 Mi gelegt	87.4 „	93.7 „	6.82 „

b) einfache Spule aus 23 Windungen (1 Lage); Durchmesser der Windungsfläche = 7 cm.

	E	E_{max}	Abnahme RV
Enden offen			Keine Wirkung
„ geschlossen	50 Volt	94.5 Volt	47.2 %
„ „ und die Windungen eng zusammengedrückt	63 „	95 „	33.6 „
nach Wiederherstellung der Re- sonanz ²⁾	73.8 „	94.8 „	22.2 „

¹⁾ Konstanten des Schwingungskreises $L = 0.003335$ Henry, $C = 1.41$ Mi, $n = 2340$.

²⁾ Um den Resonanzpunkt wieder einzustellen, musste entweder die Kapazität um ca. 0.037 Mi vermehrt oder die Frequenz entsprechend erhöht werden. Die Induktanz der Spulen des Kreises wird also durch Einführung der Spulen verkleinert.

II. Einführung von ca. 37 cm langen Drähten.

	E	E_{max}	Abnahme RV
a) Eisen 1 mm stark (2.115 g)	83 Volt	94.4 Volt	12.1 %
b) „ 0.4 „ „ (0.365 g)	91 „	95.5 „	4.2 „
c) Manganin ¹⁾ 2.5 mm stark	94.1 „	95.1 „	1.05 „
d) Kupfer ²⁾ 5 mm stark	94 „	95 „	1 „

III. Einführung von Metallstücken.

	E	E_{max}	Abnahme RV
a) Massives Kupfer ³⁾ $45.4 \times 10 \times 1.2 \text{ cm}^3$			
in der Axe des Hohlraums	68 Volt	92 Volt	26 %
am Rande „ „	56 „	92 „	39.1 „
b) Blei $24 \times 8 \times 0.1 \text{ cm}^3$, Axe	90 „	90.6 „	0.66 „
Rand, 12 cm aus dem Hohlraum hervorstehend	88 „	90.4 „	1.78 „
c) Zink $34 \times 9 \times 0.03 \text{ cm}^3$, Axe	90.7 „	92 „	2.17 „
Rand	88.5 „	91.8 „	3.7 „
$40 \times 5\pi \times 0.11 \text{ cm}^3$, kreisförmig gebogen, Rand	79.3 „	91.6 „	13.4 „

IV. Einführung von Metallcylindern.

Die Kreiscylinder bestehen aus verschiedenem Material und besitzen verschiedene Grösse. Bis auf einen waren sie aus rechteckigen Blechen so zusammengebogen, dass die Längskanten nicht zusammenstiessen. Die Cylinder wurden conaxial in den Hohlraum der Induktionsrolle geführt, teils so, dass sie sich möglichst genau in der Mitte befanden, teils so, dass sie ca. zur Hälfte aus dem Hohlraum vorragten — erstere Stellung soll durch ein zugesetztes (M), letztere durch (S) kurz angedeutet werden.

¹⁾ Enthält 4 % Nickel.

²⁾ 120 cm lang, dreimal umgebogen, sodass 4 Längen à 30 cm eng neben einander liegen.

³⁾ Nebenstehende Zahlen geben das Volum der eingeführten Metallmassen an.

a) Blei (Leitfähigkeit $\lambda = 4.82$, $Hg = 1.063$ gesetzt).

		$h^1)$	d	u	E	E_{max}	Abnahme RV
1.	(M)	25	0.1	$4.5 \times \pi$	89.5 Volt	90.4 Volt	1 % ₀
2.	(M)	25	0.1	$11.5 \times \pi$	78 "	90.6 "	13.9 "
2 a.	(S)	"	"	"	60 "	90.9 "	34.1 "
3.	(M)	53	0.1	$11.5 \times \pi$	67 "	94.4 "	28.9 "

b) Zink ($\lambda = 17$).

1.	(M)	10	0.08	$10 \times \pi$	89.5 "	91 "	1.64 "
1 a.	(S)	"	"	"	83 "	90.9 "	8.7 "
2.	(M)	30	0.08	$10 \times \pi$	70.8 "	91 "	22.2 "
3.	(M)	40	0.08	$10 \times \pi$	56 "	91.5 "	38.8 "
4.	geschlossener Cylinder						
	(M)	22	0.1	$6.3 \times \pi$	40 "	91.5 "	56.2 "

c) Kupfer ($\lambda = 57$).

1.	(M)	16	0.27	$8.5 \times \pi$	87 "	91.7 "	5.2 "
2.	(M)	32	0.27	$8.5 \times \pi$	77 "	91.1 "	15.5 "

Diskussion der Versuche.

Die in den Versuchen Nr. I beobachtete verstärkte Dämpfung ist auf den in den eingeschobenen Spulen entstehenden Induktionsstrom zurückzuführen, wie schon S. 78 ausgeführt wurde.

Die zur Entstehung des Stromes in der eingeschobenen Spule notwendige Energie wird dem Schwingungskreise entzogen und auf diese Weise das Anwachsen der Resonanzverstärkung entsprechend verhindert.

In den Versuchen II a, b und c veranlasst die magnetische Hysteresis-Arbeit im Eisen²⁾ bzw. Nickel den Rückgang von RV , da hierdurch ein Teil der Schwingungsenergie verbraucht wird.

¹⁾ Die erste Zahl giebt die Seitenhöhe des Cylinders h , die zweite die Dicke des Bleches d , die dritte den Umfang der Grundkante u ; alle Werte in cm.

²⁾ Das Eisen erwärmte sich merklich.

Die in den übrigen Versuchen zu Tage tretende Verminderung von RV verdankt ihre Entstehung wohl lediglich den Wirbelströmen (sog. FOUCAULT-Strömen); denn wenn etwa geringe Verunreinigungen durch Eisen in den verwendeten Metallen die Ursache gewesen wären, so hätte eine stärkere Wirkung beim Einschieben der Streifen aus dem gleichen Material beobachtet werden müssen.

Auffällig sind die kleinen $\%$ -Zahlen für die Verminderung von RV beim Kupfer gegenüber den Werten beim Blei, dessen Leitungsfähigkeit $4.8/57 = 0.084$ von der des Kupfers ist; dementsprechend hätte die Stärke der Wirbelströme, welche mit der Leitfähigkeit des Materials wächst,¹⁾ und damit die Verminderung von RV beim Blei geringer sein müssen. Beachtenswert ist ferner die Grössenabnahme von RV , welche eintritt, wenn ein und derselbe Körper sich an verschiedenen Stellen des Hohlraums befindet (Versuch III a u. IV a 2 u. 2 a).

Diese Erscheinung erklärt sich folgendermassen: Da die Kraftlinienzahl der die Induktionsrolle durchfliessenden Ströme nicht gleichmässig in dem Hohlraum der Rolle verteilt ist, werden die Wirbelströme, welche senkrecht zur Seitenlinie der eingeschobenen Cylinder induciert sind, die geringste Stärke zeigen, wenn sämtliche Flächen-teile des Mantels von der gleichen Linienzahl des pulsierenden Feldes durchschnitten werden (Mitte des Hohlraums). Da das Linienintegral der elektromotorischen Kraft ($E. M. K.$) in zwei benachbarten Umgrenzungslinien der Cylinderfläche gleich ist, finden die Ströme nicht genügend Gelegenheit zum Ausgleich. Wird der Cylinder so eingeführt, dass ein Teil aus dem Hohlraum herausragt, so sind die aussen befindlichen Teile in einem Felde geringerer Dichte, und das Linienintegral der $E. M. K.$ fällt hier kleiner aus. Dadurch ist die Spannung der Wirbelströme in den Teilen des Cylindermantels, welche im Innern des Hohlraums liegen, grösser als in den vorragenden und die Ströme können sich nach letzterer Stelle ausgleichen, nehmen also entsprechend grössere Stärke an.

Da das Linienintegral der $E. M. K.$ proportional der Kraftliniendichte ist, und die Dichte von der Axe nach dem Rande des Hohlraums (Nähe der Wickelung) zunimmt, so müssen die Wirbelströme

¹⁾ Wiedemann, Lehre von der Elektrizität IV, p. 523.

auch an Stärke wachsen, wenn der eingeführte Körper von der Axe nach dem Rande gebracht wird (Versuch IIIa). Ob die auffällig kleinen Werte, welche (Versuch IVc) bei den Kupfercylindern beobachtet wurden, allein auf diese Erscheinung zurückzuführen sind, kann erst nach Durchführung sorgsamere Versuche entschieden werden.

Die Wirbelströme kommen in voller Stärke zu stande, wenn man die Längskanten der Blechstreifen zusammenlötet, so dass ein geschlossener Hohlcylinder entsteht (Versuch IVb); dementsprechend der 56.2 % betragende Abfall der *RV*.

Die Untersuchungen ergeben somit eine sehr empfindliche Methode, die Verteilung der magnetischen Kraftlinien um eine elektrische Schwingungen aufnehmende Induktionsrolle zu verfolgen. Sie gestatten ferner schnell und genau die Hysteresis-Arbeit zu messen und ihre Abhängigkeit von Kraftliniendichte, Frequenz etc. aufzusuchen; eine Aufgabe, welche durch eine soeben erschienene Arbeit erhöhte Bedeutung gewinnt.¹⁾ Es dürfte die Ausdehnung der hier angedeuteten Beobachtungen auf die von Herrn FR. HEUSLER entdeckten Legierungen unmagnetischer Metalle mit ferromagnetischen Eigenschaften wünschenswerte Beiträge liefern zur Klärung dieses interessanten Gebietes.

Die Einführung eisenhaltiger Elektrolyte in den Hohlraum der Rolle hat einstweilen eindeutige Resultate noch nicht ergeben; ich bin augenblicklich mit Weiterführung dieser Versuche beschäftigt.

Einführung von grösseren Stücken Ebonit oder gut isolierendem Glase hatte keinen Einfluss auf *RV*.

Man ersieht aus den hier dargestellten Versuchen, dass die Beobachtung von *RV* in empfindlicher Weise feststellen lässt, ob an irgend einer Stelle des Leitungskreises Umformung der elektrischen in eine andere Energieform oder, anders gesagt, Absorption stattgefunden hat.

¹⁾ Über die ferromagnetischen Eigenschaften von Legierungen unmagnetischer Metalle von Fr. Heusler und unter Mitwirkung von F. Richarz, von W. Starck und E. Haupt, Marburg 1904.

Vorgetragen in der Sitzung vom 21. November 1903.

VORLÄUFIGE MITTEILUNG

ÜBER EINE

REVISION DES ATOMGEWICHTS

VON JOD

VON

KÖTHNER UND AEUER



Mehr als bei uns in Deutschland sind die Chemiker der Vereinigten Staaten seit manchem Jahr lebhaft interessiert für eine methodische Arbeit auf dem Gebiete der Atomgewichtsbestimmungen. Seit 11 Jahren berichtet F. W. CLARKE regelmässig über sämtliche Neubestimmungen von Atomgewichten und diskutiert die Resultate. Er gab auch die Anregung zur Gründung von besonderen Untersuchungslaboratorien,¹⁾ denen ausschliesslich die Aufgabe zufallen soll, Alles das auszuarbeiten und möglichst genau festzulegen, was für die chemische Arbeit allgemein und überall massgebend sein muss; und im besonderen sollen sich in diesen Laboratorien diejenigen Chemiker zu gemeinsamer Arbeit vereinigen, deren Sondergebiet Atomgewichtsbestimmungen sind.

Die Schwierigkeit aber, über die wahrscheinlichsten Werte für die Atomgewichte eine allgemeine Verständigung zu erzielen und die Tatsache, dass man in jedem Lande besondere Werte bevorzugte, brachte schon vor mehreren Jahren in Deutschland den Gedanken zur Reife, die Entscheidung über die allgemein anzuerkennenden Atomgewichtszahlen und über die zu Grunde zu legende Einheit einer internationalen Kommission zu übertragen.

Durch die gewissenhafte kritische Arbeit dieser Kommission wird nun auch der Bedeutung jener chemischen Fundamentalzahlen, deren Ermittlung mit einer Mühe verbunden ist, die wohl nur Wenigen bekannt ist, am würdigsten Rechnung getragen. Wer sich also experimentell mit der Bestimmung von Atomgewichten beschäftigt, wird

¹⁾ The development of chemistry, Journ. Amer. Chem. Soc. 1902, 24, No. 2 (Presidential address).

vor allem den Anregungen dieser internationalen Atomgewichts-kommission zu folgen haben.

In dem 10. Jahresbericht des Vorsitzenden der Kommission, F. W. CLARKE, findet man eine Mitteilung über zwei Neubestimmungen des Atomgewichts von Jod. Die eine wurde von SCOTT¹⁾ ausgeführt gelegentlich seiner Atomgewichtsbestimmung von Tellur und ergab für Jod ($H = 1$): 126,01 und 126,03, die andere von LADENBURG,²⁾ welcher für Jod den Wert 126,01 fand.

Obgleich nun die Bestimmungen von SCOTT zuverlässig erscheinen und diejenigen LADENBURG's sogar eine aussergewöhnliche Übereinstimmung aufweisen, sind diese neuen Werte für Jod in der internationalen Atomgewichtstabelle nicht berücksichtigt worden mit der Begründung, dass die Annahme dieser Zahlen von neuen und äusserst sorgfältigen Untersuchungen abhängig gemacht werden müsse.

Diese abwartende Stellung der internationalen Kommission ist durchaus verständlich, wenn man erfährt, dass die neuen Werte für Jod den von J. S. STAS bei seinen mustergültigen Untersuchungen gefundenen Wert als falsch erscheinen lassen, weil sie 0,12—0,14 Atomgewichtseinheiten höher liegen. Eine solche Abweichung wäre aber nur verständlich, wenn STAS bei seinen drei ganz verschiedenen Methoden, deren jede noch mehrfach modifiziert wurde, ein und derselbe konstante Fehler untergelaufen wäre; denn all seine Werte schwanken nur zwischen 0,01 Einheiten.

Bevor eine so überzeugend sichere Konstante geändert werden darf, sind allerdings gleich viele und gleich sorgfältige Bestimmungen erforderlich, durchgeführt mit jener peinlich scharfen Selbstkritik, welche uns die Untersuchungen von STAS so wertvoll macht.

Die vorliegende Arbeit soll den Anfang dieser notwendig gewordenen Untersuchungen bilden; hier wollen wir nur die Resultate in grossen Umrissen wiedergeben und behalten uns vor, an anderer Stelle in der für diesen Gegenstand gebotenen Ausführlichkeit zu berichten.

¹⁾ Proc. chem. Soc. 1902, 18, 112.

²⁾ Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1902, 35, II, 2275.

Kritik der Bestimmungen Ladenburgs.

Schon im Jahre 1828 hatte BERCELIUS das Atomgewicht des Jods aus dem Verhältnis von Jodsilber zu Chlorsilber ermittelt, indem er das Jod durch Chlor verdrängte; er fand eine zu kleine Zahl, weil sein Jodsilber chlorhaltig war, wie MABIGNAC (1843) nachweisen konnte. Die Methode selbst aber, welche vor fast allen sonst verwerteten den Vorzug grosser Einfachheit hat, wurde im Jahre 1859 von DUMAS¹⁾ wiederum zur Bestimmung des Verhältnisses Jod zu Chlor angewendet. DUMAS fand eine etwas (0,05 Einheiten) höhere Zahl als später STAS. Die Ursache dieser Abweichung lag darin, dass Chlorsilber im Chlorstrom flüchtig ist, eine Tatsache, welche von STAS erkannt worden war, als er seine Synthese von Chlorsilber durch Verbrennen von Silber im Chlorstrom ausführte.

Als nun LADENBURG als Dritter diese Methode zur Atomgewichtsbestimmung verwertete, rechnete er offenbar mit der absoluten Zuverlässigkeit derselben und zog aus dem Resultat seiner Bestimmungen den Schluss, dass das wahre Atomgewicht des Jods um 0,12 Einheiten höher liegen müsse, als das von STAS nach drei verschiedenen Methoden ermittelte. LADENBURG sah also die Ursache dieser höheren Zahl allein in der grösseren Reinheit seines Jods, indem er das von STAS verwertete Jod für chlorhaltig hielt. Bei vergleichendem Studium der Arbeiten von STAS und LADENBURG können jedoch Zweifel darüber auftauchen, ob LADENBURG wirklich alle Fehler der Methode vollkommen vermieden hat.

Die nächstliegende Arbeit war daher eine sorgfältige Kontrolle dieser Methode; denn es wäre ja denkbar gewesen, dass allein die methodischen Fehler jene scheinbare Erhöhung des Atomgewichts um 0,12 Einheiten verursachen; in diesem Falle wäre eine Neubestimmung überflüssig geworden.

Zwei Fehler der Methode sind möglich; zunächst der bereits erwähnte, beruhend auf der Flüchtigkeit von Chlorsilber im Chlorstrom;

¹⁾ Mémoire sur les équivalents des corps simples, Annales de Chimie et de Physique III. Serie, 55, 1859.

der zweite ebenfalls von STAS aufgefundene ist durch die Eigenschaft des Chlorsilbers, Chlor einzuschliessen, bedingt.

Zunächst suchten wir uns Rechenschaft abzulegen über den Grad der Beeinflussung des Atomgewichts durch Wägung von Chlor einschliessenden Chlorsilber. LADENBURG lässt sein Chlorsilber „in einem Strom von trockenem Kohlendioxyd allmählich abkühlen“, während STAS „einen Strom trocken Kohlendioxyds über das geschmolzene Chlorsilber streichen“ lässt. Wir haben uns nun durch viele Versuche überzeugt, dass es unbedingt notwendig ist, das Chlorsilber während des Überleitens von Kohlendioxyd im Schmelzen zu erhalten, wenn man das eingeschlossene Chlor vollständig austreiben will. Das schärfste Kriterium für die völlige Abwesenheit von Chlor im Chlorsilber ist seine Farbe: selbst Spuren von Chlor, so gering, dass sie mit Hilfe der Wage nicht mehr festgestellt werden können, färben das geschmolzene Salz bräunlich, während das reine Chlorsilber auch in dicken Schichten völlig farblos und durchsichtig ist wie Glas.

Um eine Gewichts-differenz nachweisen zu können, wurde zunächst das Gefäss mit dem geschmolzenen Chlorsilber in einem vorher auf ca. 500° erhitzten Magnesiabade erkalten gelassen, also sehr allmählich, wie LADENBURG vorschreibt, und nach der Wägung wurde über das im Schmelzen gehaltene Chlorsilber Kohlendioxyd geleitet. Die Gewichtsabnahme war nun so gering, dass sie meist innerhalb der Wägef Fehler lag; man berechnet eine Abnahme von 0,002%, welche das Atomgewicht um höchstens 0,005 Einheiten verkleinern würde. Es genügt, diesen Fehler festgestellt zu haben, der — selbst wenn ihn LADENBURG begangen haben sollte — das Resultat kaum merklich beeinflusst haben würde. Zudem würde ja durch diesen Fehler das Atomgewicht kleiner werden, während es uns von Anfang an aussichtsvoller erschien, den Fehler auf der entgegengesetzten Seite zu suchen, um möglicherweise den niedrigen Wert von STAS stützen zu können.

Etwas stärker wird das Atomgewicht des Jods durch den anderen Fehler der Methode beeinflusst und in diesem Falle erhöht. LADENBURG führt die Umwandlung von Jodsilber in einem Porzellantiegel mit durchlochtem Deckel aus, durch welchen ein Glasrohr das Chlor zuführt. Wird in einem solchen, nur unvollkommen verschlossenen Tiegel

das Chlorsilber längere Zeit im Chlorstrom bis zum Schmelzpunkt erhitzt, so ist ihm die Möglichkeit einer teilweisen Verflüchtigung gegeben. Dass diese tatsächlich immer eintritt, haben wir durch die folgenden Versuche bewiesen.

Der unzuweckmässige Tiegel wurde durch eine kurze Verbrennungsröhre ersetzt, welche an beiden Enden ausgezogen und schräg nach oben gebogen war; von der einen Seite wurde das Chlor zugeführt, an das andere war horizontal ein kapillares Schlangenrohr von 1—1½ m Länge angeschliffen. An dieses schloss sich noch ein Kugelrohr, welches in Alkohol bezw. Wasser eintauchte; hier sammelte sich das bei der Umsetzung entstehende Chlorjod, da das Schlangenrohr, um eine Verstopfung zu vermeiden, in einem Luftbade 50° warm gehalten wurde. Diesen Apparat verwerteten wir auch später bei unseren genauen Bestimmungen; er hat sich sehr bewährt. Erwähnt sei noch, dass der ganze Apparat, vom Chlorentwicklungsapparat an bis zu dem Kugelrohr, keine einzige Gummiverbindung besass.

Da das Schlangenrohr besonders gewogen werden konnte, so liess sich jedesmal nachweisen, wieviel Chlorsilber sich aus dem Zersetzungsrohr verflüchtigt hatte.

Analytische Belege. Aus Jodsilber wurden erhalten Chlorsilber:

im Zersetzungsrohr	im Schlangenrohr
5,9426 g	0,31 mg
6,7122 „	0,33 „
5,8728 „	0,34 „
5,1949 „	0,32 „
7,1328 „	0,32 „
7,1262 „	0,26 „
7,1053 „	0,23 „
6,2548 „	0,32 „
7,67305 „	0,31 „

Wie man sieht, tritt regelmässig ein Verlust an Chlorsilber ein, wenn man nicht die angegebene Vorsichtsmassregel anwendet. So gering diese Mengen auch sein mögen, sie erniedrigen doch das Atomgewicht um 0,01 Einheiten, wenn man das Mittel aus diesen neun

Bestimmungen verwendet, um zu berechnen, wie gross die Verluste bei den von LADENBURG zur Wägung gebrachten c. 40 g Ag sein konnten. Zieht man zudem noch in Erwägung, dass unser Zersetzungsrohr selbst, an dessen oberer Wandung stets Tröpfchen und weisser Beschlag von Chlorsilber sichtbar waren, schon eine nicht unerhebliche Menge Chlorsilber zurückhalten muss, welche zwischen Tiegel und und Deckel bei LADENBURG's Methode entweichen kann, so wird man den möglichen Fehler bei LADENBURG's Arbeitsweise mindestens zu 0,02 Einheiten ansetzen können, sodass sein Wert von 126,01 auf 125,99 herabgedrückt würde. Unsere späteren genauen Analysen geben Anhaltspunkte für diese Vermutung.

Da nun in dem Schlangenrohr regelmässig ein Anflug von Chlorsilber beobachtet wurde (das Auge ist auch hier bedeutend empfindlicher als die Wage), so war zu befürchten, dass möglicherweise auch in dem Chlorjod, welches bei der Umsetzung entsteht, noch Chlorsilber enthalten war. Demgemäss wurde bei allen späteren Analysen auch das Chlorjod auf Chlorsilber untersucht. Bei dieser Arbeit sind wir anfangs mehrfach irreführt worden durch Kieselsäure, welche durch Einwirkung des Chlorjods auf das Glas des (nicht mitgewogenen) Kugelrohrs und des Kölbchens mit Wasser entstanden war; denn genau wie das Chlorsilber, löst sich die so erhaltene Kieselsäure in konzentriertem Ammoniak und wird — wie dieses — durch Säurezusatz wieder ausgefällt. Nach Änderung der Bestimmungsweise gelang es, mit Sicherheit nachzuweisen, dass in dem Chlorjod meist keine Spur Chlorsilber enthalten war; wurde es nachgewiesen, so überstieg seine Menge nicht 0,1 mg; natürlich konnten so kleine Mengen nicht mit der Wage bestimmt werden; wir stellten Vergleiche an zwischen den Trübungen durch Chlorsilber aus Chlorjod mit solchen von Chlorsilber aus Silberlösungen von bekanntem Gehalt; ein Absitzen des Chlorsilbers war bei diesen geringen Mengen natürlich nicht mehr möglich. Eine Änderung des Atomgewichts kann also die Berücksichtigung dieses geringen Fehlers keineswegs herbeiführen.

Unsere Vorversuche legten somit die Vermutung nahe, dass LADENBURG bei Berücksichtigung der möglichen Fehlerquellen der Methode einen höchstens um 0,02 Einheiten niedrigeren Wert erhalten hätte. Da aber diese methodischen Fehler durchaus noch nicht die

grosse Abweichung von der STAS'schen Zahl erklären, so blieb nichts übrig, als die Ursache in der Beschaffenheit des Jods zu suchen. Damit gewannen aber die höheren Zahlen von LADENBURG und SCOTT an Wahrscheinlichkeit und gleichzeitig stellte sich die Notwendigkeit heraus, neue und möglichst sorgfältige Bestimmungen auszuführen.

Beweis für die Reinheit des von Stas verwendeten Jods.

LADENBURG's Untersuchung über „reines Jod“,¹⁾ sowie seine Atomgewichtsbestimmungen zwingen zu der Annahme, dass das von STAS verwertete Jod chlorhaltig gewesen sei. Wir glaubten daher, den Hauptwert auf die Darstellung von chlorfreiem Jod legen zu müssen.

Die erste Methode beruht auf der Behandlung von Jodsilber mit Ammoniak, welches etwa vorhandenes Chlorsilber sehr leicht in Lösung bringt, während sich Jodsilber nur zum geringen Teil in Ammoniak löst.

Die Reinigungsmethode, mit deren Ausarbeitung der Eine von uns gerade beschäftigt war, als LADENBURG's erste Arbeit erschien, wurde nun verschiedentlich variiert; das gewonnene Jodsilber wurde jedesmal analysiert.

I. Jodsilber, aus ammoniakalischer Silberlösung durch Jodkalium gefällt, ergab:²⁾

Jod	125,72 ³⁾
„	125,79
„	125,79

II. Jodsilber, aus neutraler Silberlösung mit Überschuss von Jodkalium gefällt:

Jod	125,90
„	125,91
„	125,85

¹⁾ Berichte 1902, 35, 1256.

²⁾ Analysendaten geben wir in diesem vorläufigen Bericht nicht; es soll nur erwähnt sein, dass stets solche Mengen in Arbeit genommen wurden, dass die Angabe von 2 Dezimalen volle Berechtigung hat.

³⁾ Alle Zahlen beziehen sich auf den luftleeren Raum.

III. Jodsilber nach II gewonnen, 6 Stdn. mit Ammoniak geschüttelt:
Jod 125,95

IV. Jodsilber nach II, 24 Stunden mit Ammoniak geschüttelt:
Jod 125,981
„ 125,982

V. Jodsilber, mit Jodwasserstoffsäure gefällt, 24 Std. mit Ammoniak geschüttelt: Jod 125,983

Die Versuchsreihe II, für welche das Jodsilber nach STAS bereitet wurde, ergibt auch STAS' Wert für Jod (125,90). Das Schütteln mit Ammoniak (III, IV) erhöht den Wert allmählich, bis er konstant bleibt bei 125,98; auch der Ersatz von Jodkalium durch Jodwasserstoff ändert an diesem Resultat nichts (V). Dass also das Ammoniak irgend eine Verunreinigung aus dem Jodsilber entfernt, steht ausser Frage. Der Schluss aber, dass diese Verunreinigung — wie LADENBURG meint — Chlorsilber sei, ist nicht mit der Versuchsreihe I in Einklang zu bringen; für diese wurde das Jodsilber aus einer stark ammoniakalischen Silberlösung gefällt; die Abscheidung von Chlorsilber ist in diesem Falle so gut wie ausgeschlossen; denn es kann sich infolge seiner grossen Löslichkeit in Ammoniak gar nicht bilden. Obwohl man also bei der Analyse dieses Präparates die höhere Zahl hätte erwarten sollen, ergab sich ein Wert, der noch um 0,01 Einheiten unter dem niedrigeren liegt.

Um nun über die Natur der durch Ammoniak entfernbaren Verunreinigung Klarheit zu gewinnen, wurde das Jod auf eine neue Art bereitet.

Diese zweite Methode entsprang der Erwägung, dass nichts geeigneter sein kann zur Gewinnung von völlig chlorfreiem Jod, als die fraktionierte Destillation einer organischen Jodverbindung. Wir wählten Jodaethyl, dessen Siedepunkt bei 72,3° liegt, während Chloräthyl schon bei 12,5° siedet (Bromaethyl bei 38,4°). Es ist also völlig ausgeschlossen, dass ein sorgfältig destilliertes Jodaethyl noch Brom oder gar Chlor enthält.

Dieses Jodaethyl wurde nun mit Silberlösung umgesetzt und das — wie immer — erschöpfend ausgewaschene Jodsilber analysiert.

Es ergaben sich für Jod die Werte:	125,78
	125,78
Ebenso gewonnen, neue Darstellung:	125,90
Dasselbe Jodsilber, 24 Stdn. mit Ammoniak geschüttelt:.	125,99

Wiederum führen die Analysen zu dem niedrigeren Wert, der aber sofort höher wird, sobald auch dieses sicher chlorfreie Jodsilber mit Ammoniak geschüttelt war.

Alsdann wurde mit allen Vorsichtsmassregeln eine Synthese des Jodsilbers ausgeführt, indem gewogenes Silber (c. 25 g) gelöst wurde und das Jodsilber mit Jodaethyl in einem besonders konstruierten Apparat gefällt, ausgewaschen und gewogen wurde. Das Resultat bestätigte die Analyse vollkommen, der für Jod gefundene Wert war: **125,90**.

Somit ist es uns denn gelungen, auf mehrfache Art den Beweis zu führen, dass nicht Chlorsilber im Jodsilber die Erniedrigung des Atomgewichts von Jod verursachen kann; und indirekt ist damit zugleich erwiesen, dass STAS' Jod kein Chlor enthalten hat; wir würden sonst nicht bei allen Analysen und Synthesen, welche mit chlorfreiem, aber nach STAS bereitetem Jodsilber ausgeführt wurden, seine Zahl erhalten haben.

Was aber bedingt nun das höhere Atomgewicht nach dem Behandeln des Jodsilbers mit Ammoniak? — Die Erklärung scheint nahe zu liegen. Schon VOLHARD¹⁾ berichtet, dass ausfallendes Jodsilber leicht Silbernitrat mit niederreisst, welches nur sehr schwer durch Auswaschen zu entfernen ist. Wir wagen sogar zu behaupten, dass es vollständig überhaupt nur durch Ammoniak zu entfernen ist und führen dafür folgenden Beweis an. Eine grössere Menge Jodsilber, welche sogar mit einem Überschuss von Jodkalium gefällt und wochenlang mit ungemessenen Mengen warmen Wassers geschüttelt war, gab an Ammoniak soviel Silbernitrat ab, dass der schwarze Abdampfrückstand des Ammoniakauszuges, in einigen Tropfen verdünnter Salpetersäure gelöst, mit Salzsäure sofort eine käsige Fällung von Chlorsilber gab; es waren mehrere Centigramm Chlorsilber.

¹⁾ Annalen 190, 35.

Also nicht Chlorsilber ist die in Frage kommende Verunreinigung, sondern Silbernitrat.

Damit entsteht nun eine Frage von höchster Wichtigkeit: Ist es möglich, dass in jedem Jodsilber, welches STAS bei seinen verschiedenen Analysen und Synthesen gewogen hatte, eine gewisse und immer konstante Menge Silbernitrat enthalten war? — 100 g Jodsilber müssten, um die Abweichung im Atomgewicht verständlich zu machen, etwa 0,079 g Silbernitrat enthalten haben! Wer dies beweisen wollte, müsste nachweisen, dass diese Menge Silbernitrat in einem unveränderlichen Verhältnis an Jodsilber gebunden ist, oder — was in diesem Falle leichter verständlich wäre — dass die fragliche Menge Silber an ein fremdes Halogen mit etwas geringerem Atomgewicht gebunden ist. Diese letzte Möglichkeit hält STAS nach seiner eigenen Aussage für die einzige, welche den von ihm gefundenen Wert einmal ändern könnte.

Neubestimmungen des Atomgewichts.

Analysen. Wenn man die Umwandlung von Jodsilber in Chlorsilber in der von uns angegebenen Weise ausführt, so erzielt man mit dieser Methode absolut sichere Resultate. Die folgenden Werte sind aus Analysen von Jodsilber der verschiedensten Darstellung erhalten, Silbernitrat, bezw. nicht an Jod gebundenes Silber enthielten diese Proben natürlich nicht. Angewandt wurden 10—25 g Jodsilber:

Atomgewicht von Jod im luftleeren Raum:

125,974	125,988	125,981
125,973	125,988	125,982
125,981	125,987	125,983

Mittel: 125,982

Synthesen. Um ein völlig reines Jodsilber zur Wägung bringen zu können, welches keine Spur von Chlorsilber und überschüssigem Silber enthalten konnte, verfahren wir folgendermassen: Frisch destilliertes Jodaethyl wurde mit chlorfreier Salpetersäure¹⁾ zersetzt; das

¹⁾ Dass sämtliche angewandten Reagenzien auf das sorgfältigste gereinigt wurden, ist selbstverständlich; die Methoden der Reinigung sollen hier übergangen werden.

entstandene Jod wurde mit Wasser gewaschen, im Wasserdampfstrom destilliert und mittelst Schwefelwasserstoff (gewonnen aus Schwefelcalcium mit Salpetersäure) in Jodwasserstoffsäure übergeführt. Aus dieser wurde, nachdem vom Schwefel abfiltriert war, Schwefelwasserstoff und gelöster Schwefel durch Kochen entfernt, und die so konzentrierte Säure im Wasserstoffstrom destilliert. Aufgefangen wurde sie in dunklen Flaschen und sogleich verdünnt. So wurden 3 Liter einer $\frac{1}{10}$ Normal Jodwasserstoffsäure gewonnen.

Dann wurden etwa 50 g nach STAS bereitetes Silber genau gewogen, gelöst und auf 2 Liter verdünnt. Gefällt wurde nun umgekehrt, als es STAS angiebt, d. h. zu der sehr verdünnten, überschüssigen Jodwasserstoffsäure liessen wir sehr langsam unter kräftigem Schütteln die verdünnte Silberlösung zufließen; auf diese Weise haben wir verhütet, dass Jodsilber Silbernitrat mitreisst. Das Jodsilber schied sich in jenem milchigen Zustande ab, welches VOLHARD in seiner Arbeit „Die Anwendung des Schwefelcyanammoniums in der Massanalyse“ beschreibt. LADENBURG rät, in einem solchen Falle die Bestimmung aufzugeben; wir fanden, dass ein Zusatz von Ammoniak ein schnelles und vollständiges Absitzen des Jodsilbers bewirkt. Die überstehende klare Flüssigkeit wurde abgehoben und allmählich durch im Ganzen 15 Liter ammoniakalisches Waschwasser ersetzt; die gesamten 20 Liter Flüssigkeit wurden eingedampft und die Menge des gelösten Jodsilbers besonders bestimmt. Die Hauptmenge des Jodsilbers wurde unter anhaltendem Schütteln in der Wärme ausgewaschen und, um das Trocknen zu erleichtern, mehrfach mit Alkohol durchfeuchtet, dann 8 Tage lang bei allmählich gesteigerter Temperatur getrocknet, schliesslich geschmolzen und gewogen. Unter Berücksichtigung der aus den Waschwässern stammenden Menge Jodsilber wurde das Atomgewicht im luftleeren Raume gefunden zu:

126,026.

Synthese auf trockenem Wege. STAS hatte das Gewichtsverhältnis vom Silber zu Chlor durch Verbrennen einer gewogenen Menge Silber im Chlorstrom und Wiegen des entstandenen Chlorsilbers ermittelt. Es lag nahe, das analoge Verfahren zur Bestimmung des Verhältnisses Silber zu Jod anzuwenden. Bisher ist das noch von

Niemand ausgeführt worden. So einfach diese Methode auch erscheinen mag, sie wird höchst kompliziert, wenn man an die Ausführung geht. Die Regulierung des Jodstromes, die Sorge, dass auch eine grosse Menge Silber vollständig umgesetzt wird, die Vermeidung von Verlusten an Jodsilber und schliesslich die Auffindung der geeignetsten Form des Apparates, das alles hat uns viele Wochen in Anspruch genommen. Als die Vorversuche schliesslich beendet waren, scheiterten mehrere Bestimmungen mit grösseren Mengen daran, dass der Apparat den Druck des erstarrenden Jodsilbers nicht aushalten konnte und zersprang. Auch ein Quarzgefäss zersprang. So ist uns viel Silber und Jod, das mit grosser Mühe in reinstem Zustande gewonnen war, verloren gegangen.

Diese Synthese verdient aber jede noch so grosse Mühe; denn sie bringt uns mit grösserer Sicherheit als jede andere die Entscheidung, ob das Atomgewicht des Jods höher ist als das bisher allgemein gültige, das heisst, höher als 125,9. Hier nämlich würde fast jeder nur denkbare Fehler, beruhend auf Verlusten oder Unreinheit des Silbers oder des Jods, das Atomgewicht erniedrigen; mithin erreicht man auf jeden Fall die untere Grenze für den Wert von Jod. Das Resultat dieser Synthese ist:

126,011.

Man darf demnach mit ziemlicher Sicherheit behaupten, dass das Atomgewicht des Jods nicht kleiner ist als 126,011.

Somit wären denn die höheren Zahlen von LADENBURG und SCOTT durch unsere Analysen und Synthesen bestätigt. Es muss aber noch auf einen scheinbaren Widerspruch hingewiesen werden, der sich zwischen unserer obigen Beweisführung, dass LADENBURG's hohe Zahl zum Teil durch Verluste an Chlorsilber bedingt ist, und unserem Endergebnis, der vollen Bestätigung seiner Zahl, bemerkbar macht. Unsere Analysen ergeben 125,98, die Synthesen 126,03 und 126,01. Hier muss nun irgend ein ganz konstanter Fehler der Analysenmethode vorliegen, da dasselbe Jodsilber, welches bei der Synthese 126,03 ergab, analysiert wurde und dann zu der niedrigeren Zahl 125,98 führte. Dieser Unterschied zwischen den Resultaten der Synthesen und der Analysen ist häufig und immer mit der gleichen Sicherheit nachgewiesen worden. Worin dieser konstante Fehler bestehen kann, haben wir noch nicht mit ausreichender Sicherheit ergründen können; Tatsache ist, dass

LADENBURG sowohl wie wir denselben bei jeder Analyse begangen haben. Da aber LADENBURG ausserdem noch Verluste an Chlorsilber hatte, was bei unseren Analysen nicht der Fall war, so musste er zu einer höheren Zahl gelangen, als die Analysen ergeben können; diese führen zu der Zahl 125,98, LADENBURG findet 126,01. Es ist Zufall, dass diese Zahl gerade identisch ist mit unserer aus den zuverlässigeren Synthesen gewonnenen; die Verluste, welche LADENBURG hatte, verdecken gerade den konstanten und — wie es scheint — unvermeidlichen Analysenfehler.

Obwohl wir berechtigt sind, zu dem Resultat unserer Synthesen grosses Vertrauen zu haben, so glauben wir dennoch nicht, dass das vorliegende Problem bereits gelöst ist. Wir sind damit beschäftigt, wie wir die untere Grenze für das Atomgewicht des Jods gefunden haben, nun auch die obere Grenze dieses Wertes festzulegen.

Eine volle Bestätigung aller über dem STAS'schen liegenden Werte für Jod wird aber erst dann möglich sein, wenn man sich der Mühe unterzogen hat, in allen Jodverbindungen, welche STAS zur Wägung gebracht hat, jenen konstanten Gehalt von nicht an Jod gebundenem Silber wirklich nachzuweisen.

ÜBER DIE
RADIOAKTIVEN EIGENSCHAFTEN
DES WASSERS EINIGER QUELLEN

VON

ERNST DORN



F. HIMSTEDT¹⁾ und J. J. THOMSON²⁾ bemerkten, daß Luft, welche mit dem Wasser der Leitungen von Freiburg bezw. Cambridge in inniger Berührung gewesen war, radioaktive Eigenschaften erlangt. HIMSTEDT hat dann das Gleiche für eine Reihe von Quellen nachgewiesen.

Es schien mir der Mühe wert, diese Untersuchungen auf einige weitere Quellen, besonders solche von anerkannter Heilwirkung auszudehnen.

Für die Untersuchungen wurde ein Quadrantenelektrometer der MASCART'schen Form mit vorzüglicher Bernsteinisolierung benutzt. 1 Volt gab etwa 32,3 Skalenteile Ausschlag.

Zur Prüfung auf etwa im Wasser enthaltene Emanation wurde so verfahren: Sofort nach Öffnung einer der Originalflaschen, worin das Wasser geliefert war, wurde ein Gummistopfen mit einer langen und einer kurzen Glasröhre eingesetzt, und erstere mit der „Druckseite“ eines Gummidruckballes mit zwei Ventilen verbunden. Die in Blasen durch das Wasser aufsteigende Luft ging durch eine lange Röhre mit Chlorecalcium und eine andere mit Watte und trat dann durch einen unteren Hahnenstutzen in einen Messingzylinder von 30 cm Höhe und 11,4 cm Durchmesser. Ein oberer Hahnenstutzen war an die „Saugeseite“ des Druckballes angeschlossen. So war es möglich, dieselbe Luftmenge wiederholt durch das Wasser zu pressen, bis das Gleichgewicht zwischen der Emanation im Wasser und in der Luft erreicht war, wozu bei 3—4 maligem Drücken des Balles in der Sekunde 20 Minuten ausreichten.

¹⁾ HIMSTEDT, Berichte der Naturf. Ges. zu Freiburg i. Br. 1903, S. 101 u. 181.

²⁾ Nach Naturw. Rundschau 31. Juli 1903.

Der Deckel des Messingzylinders bestand aus mehreren konzentrischen Teilen: ein Ring aus starkem Messingblech, ein Ring aus Ebonit, ein zweiter Ring aus Messingblech mit einem schwach konischen Stück, in welches ein Paraffinstopfen paßte. Diesen durchsetzte ein starker Draht, der unten eine kleine Klemmvorrichtung für einen dünnen Messingdraht (11,3 cm lang, 0,24 mm Durchm.) trug, während sein oberes Ende mit dem freien Quadrantenpaar verbunden war. Diese Verbindungsleitung war bis auf kurze Stücke an beiden Enden mit Paraffin in einem Messingrohr von 1 cm Durchm. befestigt.

Die Dichtung der einzelnen Teile des Deckels gelang befriedigend mit Münchener Siegelwachs; der äußere Ring wurde nach Zwischenlegen eines dicken, weichen Gummiringes auf einen oben am Zylinder angelöteten Ring mit kleinen (leitenden) Schraubzwingen aufgepresst.

Zur Messung der Wirkung der Emanation wurde der auf Paraffinplatten stehende Zylinder auf + 300 Volt geladen; Ableitung des mittleren Ringes zur Erde hinderte ein „Überkriechen“ der Elektrizität zum inneren Drahte.

Mit Hilfe einer Seidenschnur konnte der Beobachter vom Fernrohr aus eine Erdung des freien Quadrantenpaares aufheben und die wachsende Ladung desselben verfolgen. Bei stärkerer Aktivität geschah dies 2—4 Minuten, bei schwacher bis zu 20 Minuten.

Bekanntlich bewirkt schon die atmosphärische Luft Entladung; daher wurde diese vor dem Hauptversuch jedesmal ermittelt und in Abzug gebracht.

Um die durch die Emanation induzierte Aktivität zu messen, wurde der dünne Draht herausgenommen, in der Axe einer auf 300 Volt geladenen Messingröhre isoliert angebracht und mit dem freien Quadrantenpaar verbunden. Auch hier mußte natürlich die Entladung bei inaktivem Draht abgezogen werden.

Zur Prüfung fester Körper auf radioaktive Strahlung hätte sich der große Zylinder nicht geeignet, da die α -Strahlen (nach RUTHERFORD's Bezeichnung) schon von wenigen cm Luft absorbiert werden. Daher wurde hierfür ein Zylinder von 10,3 cm Höhe benutzt, dessen Deckel ähnlich eingerichtet war, nur daß hier der Paraffinstopfen von einem starken Draht durchsetzt wurde, welcher unten eine horizontale Messingscheibe von 9 cm Durchm. trug. Unter dieser befand sich in

1 cm Abstand ein Drahtnetz, welches auf einem festen Lager ruhte. Brachte man den zu untersuchenden Körper unter das Drahtnetz, so wurde hierdurch an der Anordnung der Leiter, welche in Betracht kommen, nichts geändert.

Gasteiner Wasser (Lainer- oder Chirurgenquelle).¹⁾

Die Füllung erfolgte am 18. April 8^h. a. m.; in der Zeit vom 23. April bis 27. Mai beobachtete ich 7 Flaschen.²⁾

Nachstehend gebe ich die 1 und 2 Minuten nach der Isolierung beobachteten Ablenkungen, darunter die nach der Formel

$$J_t = J_0 e^{-\lambda t}$$

berechneten Werte derselben, wo bedeutet: t die Zeit seit der Füllung in Tagen, J_t die Ablenkung für t , J_0 für 0 ($1^{\text{min.}} J_0 = 532,1$; $2^{\text{min.}} J_0 = 1064,1$), λ eine Konstante = 0,1710.

t	5,46	6,28	9,29	14,23	17,22	20,23	30,21
$1^{\text{min.}} J_t$	206,5	182,9	108,9	47,4	28,0	16,9	0,8
ber.	209,2	181,8	108,7	46,7	28,0	16,7	0,7
beob.—ber.	— 2,7	+ 1,1	+ 0,2	+ 0,7	0,0	+ 0,2	+ 0,1
$2^{\text{min.}} J_t$	412,7	366,6	218,9	94,7	54,9	34,0	1,8
ber.	418,3	363,6	217,3	93,4	56,0	33,5	1,3
beob.—ber.	— 5,6	+ 3,0	+ 1,4	+ 1,3	— 1,1	+ 0,5	+ 0,5

Die Darstellung der Beobachtungen durch die Formel ist sehr befriedigend.

Für die Konstante des „Abklingens“ der Radium-Emanation gibt Frau CURIE³⁾ 0,1738 Tag⁻¹.

¹⁾ Die Resultate berühren sich vielfach mit denen von MACHE, dessen Arbeit ich aus der Physikal. Zeitschrift vom 1. Aug. 1904 kennen lernte.

²⁾ Von dem 1 Liter betragenden Inhalt wurden etwa 930 ccm benutzt.

³⁾ Umgerechnet nach Mme CURIE, Unters. über die radioaktiven Subst., übers. von KAUFMANN p. 99.

Da die Wirkung nach 39 Tagen fast auf 0 gesunken ist, so ist sie (wenigstens fast ganz) nicht durch eine selbständig radioaktive Substanz, sondern durch eine „Emanation“ bedingt, welche das Wasser in der Tiefe aufgenommen haben mag. Diese Emanation ist wahrscheinlich mit der Radium-Emanation identisch.

Dies Ergebnis wurde durch das Verhalten der induzierten Aktivität bestätigt.

Für das Abklingen derselben sind die Gesetze kompliziert; insbesondere ist auch die Dauer der Aktivierung von Einfluss. Daher war es am einfachsten, Radium-Emanation von Wasser aufnehmen zu lassen und mit diesem Wasser ebenso zu verfahren, wie mit dem Quellwasser.

Ich habe die induzierte Aktivität für zwei Flaschen des Gasteiner Wassers und für zwei Proben künstlich mit Emanation beladenen Wassers verfolgt.

Es wurden dann Relativwerte berechnet durch Multiplikation mit einem Faktor, welcher die Wirkung 15^{min.} nach Schluss der Aktivierung auf einen bestimmten Wert brachte.

Sämtliche so erhaltenen Zahlen wurden als Ordinaten (Abszissen: Zeit nach Aufhören der Aktivierung) aufgetragen; sie ordneten sich in einen Kurvenzug. Übrigens wich die erhaltene Kurve von 15^{min.} an nur unerheblich von einer nach der Formel von CURIE und DANNE¹⁾ berechneten ab; vorher waren die beobachteten Werte erheblich höher.

Die radioaktive Wirkung des Gasteiner Wassers (auf den Moment des Schöpfens zurückgerechnet 532 Skalenteile in 1 Minute) ist der sämtlicher andern von mir untersuchten Proben weit überlegen.²⁾

Andererseits steht dieselbe weit hinter derjenigen des künstlich mit Radium-Emanation beladenen Wassers zurück. Von letzterem versetzte ich einmal 5 ccm mit 500 ccm inaktiven Wassers und verdünnte 10 ccm der Mischung auf 1 Liter. Jetzt trieb die Emanation in 30^{sek.} die Skala (500 Teile) aus dem Gesichtsfelde. Die Wirkung war also wenigstens doppelt so stark, als die des Gasteiner Wassers im Augenblick des Schöpfens.

¹⁾ Vgl. RUTHERFORD, Radioactivity p. 263.

²⁾ CURIE und LABORDE fanden Wasser aus der Gratenbrücker Quelle in Gastein ebenfalls weit stärker als alle andern Proben; Comptes rendus 9. Mai 1904.

Das Gasteiner Wasser enthält sehr wenig mineralische Bestandteile; nach Abdampfen von 795 ccm blieben 0,270 g, also für 1000 ccm 0,340 g Rückstand. Dem entsprechend ist auch die elektrische Leitfähigkeit sehr gering. Herr Dr. WALLSTABE ermittelte dieselbe bei 17,1 ° für Proben aus 5 Flaschen zwischen 4,36 und $4,45 \cdot 10^{-4}$, während „destilliertes Wasser“ aus dem chemischen Institut $1,13 \cdot 10^{-5}$ hatte.

Der Rückstand wurde auf radioaktive Eigenschaften im trockenen und feuchten Zustande unter Benutzung des kleinen Zylinders untersucht; doch war nur eine Andeutung einer Wirkung festzustellen, so daß solche Eigenschaften, wenn überhaupt, nur in äußerst geringem Grade vorhanden sind.

Wasser aus Baden-Baden, „Murquelle“.

Dies Wasser wählte ich zur Vergleichung, da es Herr HIMSTEDT als das aktivste unter allen von ihm untersuchten bezeichnet.

Die Entnahme aus der Quelle war am Nachmittag des 21. Juni erfolgt, und schon am nächsten Tage konnte mit der Untersuchung begonnen werden. Ich erhielt für 5 Flaschen:¹)

t (Tage)	1,00	2,84	3,87 ²)	8,89	14,89
Nach 1 min. Skt.	80,6	77,6	74,7	20,4	10,0
„ 2 min. „	161,0	156,5	149,8	41,6	21,0

Man übersieht leicht (was durch eine graphische Darstellung noch deutlicher hervortritt), daß hier kein einheitliches Gesetz des Abklingens der Wirkung vorliegt.

Dies ist bei der geringen Ergiebigkeit der Murquelle — nach Angabe des Maschinenmeisters etwa 3000 Liter für 24 Stunden — verständlich.

Rechnet man mit Benutzung des CURIE'schen Koeffizienten $\lambda = 0,1738 \text{ Tag}^{-1}$ auf den Moment des Schöpfens zurück,³) so folgt aus

¹) Von 1 Liter Inhalt etwa 870 ccm benutzt.

²) Diese Flasche war trübe.

³) Vgl. jedoch unten.

Flasche 1: 102,5, aus Flasche 2: 127,1 (bezw. für ein Volum von 930 ccm 109,6 und 135,9).

Die aus der vierten Flasche gewonnene Emanation wurde im großen Zylinder abgesperrt, und ihre Abnahme beobachtet. Die Beobachtungen ließen sich leidlich durch die Formel $J_t = J_0 e^{-\lambda t}$ mit CURIE's Wert $\lambda = 0,1738 \text{ Tag}^{-1}$ und $J_0 = 20,4$ (1 min.), 41,6 (2 min.)¹⁾ darstellen, wie folgendes Täfelchen zeigt:

t (Tage)	0,285	0,722	1,230	1,277	2,196	2,182	3,883	4,710
J_t (1 min.) beob.	19,9	17,6	15,6	15,5	13,8	12,5	11,1	9,3
ber.	19,4	18,0	16,5	16,3	13,9	12,5	10,4	9,0
beob. — ber.	+ 0,5	— 0,4	— 0,9	— 0,8	— 0,1	0,0	+ 0,7	+ 0,3
J_t (2 min.) beob.	39,5	35,6	31,3	31,2	28,0	25,3	22,2	18,7
ber.	39,6	36,7	33,6	33,3	28,4	25,5	21,2	18,4
beob. — ber.	— 0,1	— 1,1	— 2,3	— 2,1	— 0,4	— 0,2	+ 1,0	+ 0,3

Das Abklingen der induzierten Aktivität wurde für die erste Flasche beobachtet. Der Abfall ist rascher, als der von mir beobachteten Radiumkurve entspricht; gegenüber der Formel von CURIE und DANNE sind die Abweichungen in demselben Sinne noch etwas größer.

Nachstehende Zusammenstellung zeigt diese Verhältnisse; die Ablesungen sind immer 4 min. nach Aufheben der Isolation gemacht.

t min.	8	14	20	26	32	38
beob.	25,5	22,8	20,1	18,3	17,3	15,8
Nach Radium ber.	31,8	22,7	20,9	19,3	17,8	16,2
beob. — ber.	— 6,3	+ 0,1	— 0,8	— 1,0	— 0,5	— 0,4
t min.	44	50	56	70	94	133
beob.	14,0	12,1	10,4	7,4	3,1	0,9
Nach Radium ber.	15,0	13,5	11,9	9,1	5,4	2,3
beob. — ber.	— 1,0	— 1,4	— 1,5	— 1,7	— 2,3	— 1,4

¹⁾ Die Ablenkung ohne Emanation ist mit 1,7 bzw. 3,3 bereits abgezogen.

Wenn hiernach auch eine starke Annäherung an die bei Radium geltenden Verhältnisse vorliegt, so scheinen doch bereits merkliche Differenzen zu bestehen.

Gleichzeitig mit dem Wasser erhielt ich etwas von dem „Thermal-schlamm“, den die Murquelle absetzt.

Schon ein flüchtiger Vorversuch zeigte, daß dieser Schlamm selbständige Aktivität besitzt und eine Emanation aussendet. Genauere Beobachtungen bestätigten dies: 53 g lufttrockenen Schlammes erzeugten im kleinen Zylinder bald nach dem Einbringen in 20^{min.} 22,9 Skalenteile Ablenkung, 23 und 48 Stunden später 100,8 bzw. 112,9.¹⁾

Wasser von Wildbad in Württemberg.

Mit der Untersuchung des am 7. Juli abgesandten Wassers konnte erst am 14. Juli begonnen werden.

Hierbei wurden zwei Flaschen hintereinander geschaltet, so daß die Luft erst die eine, dann die andere durchperlte, ehe sie zum Zylinder gelangte. Die Ablenkungen waren nach:

1	2	10	20 ^{min.}
10,2	19,4	94,4	185,3 Skt.

wo die Ablenkungen vor Einbringen der Emanation (1,5, 3,1, 16,7, 32,9 Skalenteile) schon abgezogen sind.

Die Emanation wurde gleich zur Ermittlung der Geschwindigkeit des Abklingens benutzt; ich gebe nur für die Ablenkung nach 20 Minuten die beobachteten und berechneten Werte an.

<i>t</i> (Tage)	0	0,084	0,502	1,054	1,508	3,006	4,007
<i>J_t</i> beob.	185,3	177,2	167,3	151,1	146,2	116,9	103,2
ber.	179,9	178,2	167,7	155,3	145,8	118,3	102,9
beob.—ber.	+ 5,4	— 1,0	— 0,4	+ 4,2	— 0,4	— 1,4	+ 0,3

¹⁾ ELSTER und GEITEL fanden, daß die vom Schlamme der Murquelle abgegebene Emanation von der Radium-Emanation verschieden ist; Zeitschr. f. Instrum.-kunde, Juli 1904.

Der Rechnung nach der Formel $J_t = J_0 e^{-\lambda t}$ liegen zu Grunde die Werte $J_0 = 179,9$, $\lambda = 0,1584 \text{ Tag}^{-1}$. Die Darstellung ist ziemlich befriedigend, denn aufer dem ersten Werte, der etwas zeitig nach Einführung der Emanation beobachtet wurde, kommt nur eine etwas gröfsere Abweichung vor. Die Abnahme ist merklich langsamer als bei Radium-Emanation (nach CURIE $\lambda = 0,1738$); dafs diese Differenz tatsächlich besteht, findet eine Stütze in Folgendem. Am 29. Juli war bei 2 weiteren Flaschen die Wirkung in 20 Minuten $52,3 - 34,9 = 17,4$ Skt. Mit $J_0 = 177,2$, $t = 14,60$ Tage, $\lambda = 0,1584$ erhält man aus $J_t = J_0 e^{-\lambda t}$: 18,5 Skt., also in befriedigender Übereinstimmung. Nach CURIE sollte sein: 11,2.

Übrigens wird ein Fehler im Sinne einer zu langsamen Abnahme, wie er hier vorliegen müfste, nicht leicht gemacht werden, z. B. würde eine Undichtheit die Abnahme beschleunigen. Immerhin bleibt eine Bestätigung durch weitere Untersuchungen erwünscht.

Zu einem Vergleich mit der Aktivität der andern Wasser gelangt man auf folgendem Wege: Rechnet man mit $\lambda = 0,1584$ vom 14. Juli (Ablenkung 177,2) auf den 7. Juli zurück, so findet man 469,9 als anfängliche Ablenkung in 20^{min}. Also für 1^{min}. 23,5 Skt. Diese wären bewirkt durch die in 2 Flaschen enthaltenen 1390 ccm; hätte man, wie beim Gasteiner Wasser, 930 ccm verwendet, so würde bei Proportionalität folgen 15,7 Skt. Eine genauere Rechnung mit Berücksichtigung der Luftvolumina unter Benutzung des „Verteilungskoeffizienten“ der Emanation 3,0¹⁾ führte auf den wenig verschiedenen Wert 16,5.

Das Leitungsvermögen des Wildbader Wassers fand Herr Dr. WALLSTABE als $8,22 \cdot 10^{-1}$ bei 22,7°.

Wasser von Karlsbad (Sprudel).

Die Füllung war am 4. Juli erfolgt, die Untersuchung der Emanation begann am 8. Juli mit Flasche 1. Die Ablenkung (vermindert um die ohne Emanation) betrug nach

¹⁾ Vgl. v. TRAUBENBERG, Phys. Zeitschr. 5, S. 130, 1904. Ich fand 3,0 für Wasser von Baden-Baden nach einem andern Verfahren.

1	2	10	20 min.
1,7	3,7	18,3	35,4 Skt.

Zur Steigerung der Wirkung wurden von nun an immer 3 Flaschen hintereinander benutzt. Mit den Flaschen 2, 3, 4 wurden die Ablenkungen erhalten (Elektrometer isoliert am 9. Juli 9^h. 10^m. p. m.)

nach	1	2	10	20 min.
	4,2	9,3	46,0	90,2 Skt.

Ich lasse noch die Beobachtungen über das Abklingen der Emanation in der üblichen Darstellung folgen, wobei nur die Ablenkungen nach 20^{min.} angegeben sind:

t (Tage)	0	0,895	1,928	2,938	3,909
J_t beob.	90,2	87,9	71,0	64,3	54,1

Diese Resultate habe ich nur zu einer graphischen Darstellung verwertet, welche sich an die Ergebnisse der besseren Beobachtungsreihe mit Flasche 5, 6, 7 anschloß. Der Anfangspunkt der Zeiten ist hier 21. Juli 5^h. 23^m. p. m.; die Ablenkungen¹⁾ nach je 20^{min.} Wirkung waren:

t (Tage)	0	1,084	2,105	3,113	4,078	4,828
J_t beob.	101,5	87,0	74,3	62,9	57,7	53,0
ber.	101,5	87,1	75,5	65,5	57,2	51,4
beob. — ber.	0,0	— 0,1	— 1,2	— 2,6	+ 0,5	+ 1,6

Die berechneten Werte sind gewonnen mit $J_0 = 101,5$, $\lambda = 0,1409$ Tag⁻¹. Das Abklingen erfolgt hiernach wesentlich langsamer als bei Radium-Emanation!

Auffallend war auch, daß der Anfangswert noch etwas höher lag als bei den 12 Tage früher mit den Flaschen 2, 3, 4 angestellten Beobachtungen.

Hieraus zog ich in meinem Vortrage den Schlufs, daß im Gegensatz zu den andern untersuchten Quellen, deren Aktivität sicher fast ganz, wenn nicht ausschließlich, durch eine Emanation bedingt ist, der Karlsbader Sprudel eine radioaktive Substanz enthält, welche die von durchperlender Luft fortgeführte Emanation im Laufe der Zeit wieder ersetzt.

¹⁾ Nach Abzug derjenigen ohne Emanation.

Dieser Schlufs wurde durch nachträgliche Beobachtungen vollauf bestätigt. Am 31. Juli erhielt ich mit den Flaschen 2, 3, 4 die Ablenkungen:

1	2	10	20 min.
3,9	8,6	45,2	90,2 Skt.,

d. h. fast genau dieselben Werte wie am 9. Juli. Dafs die Wirksamkeit des Wassers durch diesen Versuch geschwächt war, lehrte eine Beobachtung am nächsten Tage (1. Aug.):

1	2	10	20 min
2,4	4,5	22,6	44,0 Skt.

Die durch diesen Versuch jedenfalls noch weiter geschwächte Emanation wurde aber ziemlich rasch ersetzt, denn am 4. Aug. wurde gefunden:

1	2	10	20 min.
2,5	4,8	26,4	51,8 Skt.,

also bereits mehr als am 1. Aug.

Aus etwa 850 ccm des Karlsbader Wassers wurde ein Rückstand von 4,089 g durch Abdampfen gewonnen. Trocken zeigte er im kleineren Zylinder keine Aktivität, angefeuchtet höchstens eine Spur. Ich gedenke den Rückstand weiter zu untersuchen.

Quellen in der Umgebung von Halle.

Ich selbst habe nur eine Flasche¹⁾ der Soole von Wittekind untersucht; bald nach der Füllung erzeugte die ihr entzogene Emanation 120,3 Skalenteile Ablenkung, also nahe so viel wie die Murquelle in Baden-Baden. Herr RICHARD SCHENK hat auf meine Anregung sich mit diesem Gegenstande eingehend beschäftigt und kräftige Aktivität besonders bei den Quellen von Fürstenthal (in Halle), von Neu-Ragoczi und Wittekind festgestellt. Herr SCHENK wird über seine Ergebnisse an anderer Stelle berichten.

Vorgetragen in der Sitzung am 30. Juli 1904.

¹⁾ Eine der Gasteiner Flaschen.

WECHSELSTROMWIDERSTAND VON DRAHTSPULEN

(VORLÄUFIGE MITTEILUNG IN DER SITZUNG VOM 29. OKTOBER 1904)

VON

PROF. DR. K. E. F. SCHMIDT





In meiner Arbeit über elektrische Resonanz¹⁾ habe ich darauf hingewiesen, daß die Messung der Selbstinduktionskoeffizienten von Drahtspulen Schwierigkeiten verursacht, wenn der Draht großen Querschnitt besitzt.

Ich habe für derartige Messungen eine Methode verwendet,²⁾ welche praktisch brauchbare Resultate liefert, wenn der OHM'sche Widerstand w der Spule so klein ist, daß er gegen die Induktanz $L \times 2\pi n$ (L = Koeffizient der Selbstinduktion, n = Frequenz der Schwingung) vernachlässigt werden kann. Dies war bei meinen Spulen der Fall, da w von der Ordnung 10^8 , $L 2\pi n$ von der Ordnung 10^{12} absoluter Einheiten war.

Ich habe damals zwei Gründe dafür angeführt, daß die Methode der WHEATSTONE'schen Brücke unter Benutzung des Telephons und der gewöhnlichen Induktionsnormale versagt, wenn Spulen so ungleicher Dimensionen verglichen werden, wie es bei meinen Untersuchungen der Fall war. (Normal $L = 10^6$ aus 1,2 mm starkem Draht, Versuchsspulen $L = 10^6$ bis 10^7 aus 3,57 mm starkem Draht.) Kapazitätswirkungen und Wirbelströme in den großen Drahtquerschnitten verursachen ein ganz verwaschenes und daher für die Messung unbrauchbares Tonminimum. Daß von diesen beiden Ursachen die letztere hauptsächlich für die Erscheinung in Betracht kommt, geht aus einer im Dezemberheft der Annalen der Physik 1903 erschienenen Arbeit von DOLEZALEK hervor. Er zeigt dort, daß schon bei Schwingungen von ca. 1000 Perioden starke Änderungen des OHM'schen Widerstandes

¹⁾ Diese Abhandlungen Bd. 25 S. 67 ff. (Sitzung vom 21. November 1903) und Annalen d. Physik IV, Bd. 14 S. 22 ff. (1904).

²⁾ Ebenda S. 76 bzw. S. 39.

in dicken Drähten hervorgerufen werden und somit der Querschnitt nicht mehr gleichmäßig mit Stromfäden erfüllt ist.

Seine Messungen sind mit Hilfe der WHEATSTONE'schen Brücke ausgeführt, es muß somit also auch die Änderung der Selbstinduktion in den Spulen berücksichtigt werden. Nun ist diese Änderung, wie DOLEZALEK S. 1146 zeigt, für die Schwingungen von ca. 1000 Perioden klein; bei schnelleren Schwingungen wird sie aber vermutlich stärker werden und für sehr schnelle Schwingungen erhebliche Werte annehmen.

Da die Änderung dieser Größe vollständig streng mit der Rechnung nicht verfolgt werden kann, erscheint die Anwendung einer kalorimetrischen Methode, welche die Widerstandsänderung direkt ergibt, geeigneter.

Für die Weiterverfolgung der von mir untersuchten Resonanzerscheinungen ist die Kenntnis der Änderung des Widerstandes mit der Periodenzahl der zur Verwendung gelangenden Schwingungen, sowie die des Einflusses der Spulenform notwendig. Die von DOLEZALEK erhaltenen Resultate reichen hierzu noch nicht aus, vielmehr muß das Beobachtungsmaterial erheblich vermehrt werden, was auch in Anbetracht der von MAX WIEN¹⁾ und A. SOMMERFELD²⁾ ausgeführten theoretischen Behandlung der Frage nicht ohne Interesse sein dürfte. Ich habe deshalb die gleich bei Feststellung der oben erwähnten Tatsache geplante Untersuchung im vorigen Sommer begonnen; es sollen nicht nur Spulen verschiedener Dimension, sondern auch geradlinig ausgespannte Leiter auf ihre Widerstandsänderung geprüft werden.

Da der Raum, in welchem die Ablesungen vorgenommen werden, im Winter durch die in der Nähe befindliche Heizung starke Temperaturschwankungen aufweist, mußten die Beobachtungen einstweilen unterbrochen werden.

Von den bisher erhaltenen Resultaten möchte ich der Gesellschaft heute vorläufig folgendes mitteilen.

Nach vielfachen Verbesserungen an dem Apparate, dessen genaue Beschreibung der ausführlichen Mitteilung vorbehalten bleibt, kann die

¹⁾ MAX WIEN, Über den Durchgang schneller Wechselströme durch Drahtrollen, Annalen d. Physik IV, Bd. 14 S. 1.

²⁾ A. SOMMERFELD, Über das Wechselfeld und den Wechselstromwiderstand von Spulen und Rollen, Annalen d. Physik IV, Bd. 15, S. 673.

gesuchte Widerstandsänderung mit ca. 1 % Genauigkeit bestimmt werden.

Die Wechselströme wurden von der in meiner Resonanzarbeit beschriebenen TESLA-Maschine erzeugt; die Messung der Stromstärken und Frequenzen geschah mit den dort angegebenen Methoden.

Der zu untersuchende Draht taucht in ein Ölbad, das, sonst völlig dicht abgeschlossen, mit einem Kapillarrohr kommuniziert, in welchem die durch Stromwärme ausgedehnte Flüssigkeit aufsteigen kann. Nennt man h die in cm gemessene Steighöhe im Kapillarrohr, welche durch i Ampère Gleichstrom oder i' Ampère Wechselstrom erzeugt ist, w den Gleichstrom-Widerstand und w' den Wechselstrom-Widerstand, so ist

$$h = c \cdot i^2 w t = c \cdot i'^2 w' t$$

wenn c eine Konstante, t die in beiden Fällen gleiche Zeit bedeutet, in der die Flüssigkeit um das h entsprechende Volumen zugenommen hat. Somit findet man das gesuchte

$$w' = w \frac{i^2}{i'^2}$$

Nach diesem Verfahren habe ich an einer Spule von 43,3 Windungen (einfache Lage, ca. 10 m Drahtlänge), 6,67 cm Spulendurchmesser, 27,2 cm Spulenhöhe, 0,501 cm Drahtdurchmesser zunächst für $n = 2048$, 2500 und 3000 Perioden w' bestimmt.

Die Resultate sind folgende:

Frequenz	Wechselstrom- Widerstand	
$n = 2048$	$w' = 2,265 w$	$y = \frac{w' - w}{n^2} \cdot \frac{1}{w} = 3,016 \cdot 10^{-7}$
$= 2500$	$= 2,611$	$= 2,577 \cdot 10^{-7}$
$= 3000$	$= 2,630$	$= 1,811 \cdot 10^{-7}$

DOLEZALEK ¹⁾ fand abweichend von mir bei seinen Beobachtungen

$$\frac{w' - w}{n^2} = \text{konst.}$$

¹⁾ Annalen d. Physik IV, Bd. 15 S. 1145.

Seine Beobachtungen sind für Drähte bis zu 2 mm Durchmesser, für Spulen von 0,03 Henry und zwischen $n = \text{ca. } 600$ und $= \text{ca. } 2300$ ausgeführt. Seine Spulen zeigen also gegen die von mir benutzte Spule erhebliche Unterschiede, dadurch und besonders durch die Verschiedenheit der von uns verwendeten Frequenzen erklären sich die Abweichungen zwischen unsern Resultaten.

Durch graphische Darstellung, bei der die Ordinaten

$$y = \frac{w' - w}{n^2} \cdot \frac{1}{w}$$

und die Abscissen $x = n^2$ gemacht wurden, ergab sich, daß die 3 beobachteten Punkte sehr nahe in einer Geraden liegen; deren Gleichung

$$y = a + b n^2$$

ist, wenn $a = 4,073 \times 10^{-7}$ und $b = -2,479 \times 10^{-14}$ gesetzt wird. Konstruiert man nun die Kurve

$$\frac{w' - w}{w} = a n^2 + b n^4$$

so sieht man, daß sie für $n < 1800$ nahezu geradlinig verläuft, wie es DOLEZALEK beobachtet hat.

MESSAPPARATE
FÜR
SCHNELLE ELEKTRISCHE SCHWINGUNGEN

UND

IHRE VERWENDUNG IN DER DRAHTLOSEN TELEGRAPHIE

VON

PROF. DR. K. E. F. SCHMIDT

(VORLÄUFIGE MITTEILUNG IN DER SITZUNG AM 19. MAI 1906)



Im Januarheft der Zeitschrift für Instrumentenkunde 1905 habe ich Mitteilung gemacht über zwei Hitzdraht-Strommesser, welche ich durch Anwendung von Spiegelablesung wesentlich verbessern konnte. Das eine Instrument hat einen Meßbereich von 1—2 Amp., das zweite von 0,1—0,2 Amp.

Ich habe seitdem in Gemeinschaft mit meinen Assistenten den Herren HEINRICH v. BUOL und JOHANNES RAUTENKRANTZ ausführliche Untersuchungen durchgeführt, welche den Zweck hatten, andere auf dem Prinzip des Hitzdrahtes beruhende Meßvorrichtungen eingehender kennen zu lernen und zu vervollkommen. Zunächst haben wir das von R. M. FRIESE 1895 beschriebene Spiegelinstrument¹⁾ mit einigen Abänderungen versehen, auf seine Genauigkeit untersucht und seinen Meßbereich geprüft. Es ergab sich, daß bei Verwendung eines Constantan-Drahtes von 0,02 mm Durchm. und ca. 1170 Ω Widerstand auf einer 5,5 m entfernten Skala (in Doppelmillimeter geteilt) ein Strom von 0,00051 Amp. sicher nachzuweisen war. Ein Strom von 0,00467 Amp. gab 7,1 Skalenteile Ausschlag mit einem mittleren Einstellungsfehler von 1,4%. Die größte mit dem Instrument bei unserer Anordnung noch nachzuweisende Stromstärke betrug etwa 0,039 Amp. (mittlerer Einstellungsfehler 0,1%). Die Einstellung auf dem gleichen Skalenteil erfolgte an verschiedenen Tagen bei einem um ca. 0,5% geänderten Stromwerte; eine gleiche Abweichung ergab eine 5^{Min.} währende Dauerbelastung.

Um also die äußerste Grenze der erreichbaren Genauigkeit zu erhalten, muß auch bei diesem Instrument die in meiner obenerwähnten Arbeit vorgeschlagene Kontrollanordnung mit Gleichstrom ständig ausgeführt werden.

¹⁾ R. M. FRIESE, Elektrotechnische Zeitschrift 1895, S. 726.

Es entspricht nun bei den drei Instrumenten in den mittleren und höheren Meßbereichen 1 Sc. Ausschlag einer Stromänderung von 10^{-3} , 10^{-4} und 6×10^{-5} Amp. Belastet man daher in geeigneter Schaltung die Instrumente mit Gleichstrom, um einen entsprechenden Anfangsausschlag zu haben, und legt dann darüber den zu messenden Wechselstrom, so kann man Wechselströme von den Größenordnungen 10^{-3} , 10^{-4} und 6×10^{-5} Amp. mit voller Exaktheit feststellen. Die Anwendbarkeit der Instrumente hat damit einen erheblichen Fortschritt gemacht.¹⁾

Den gleichen Kunstgriff haben wir nun mit Erfolg angewendet bei den von FESSENDEN als „solid barretter“ bezeichneten Hitzdrähten, welche aus Platin von ca. 0,003 mm Durchm. hergestellt werden.²⁾

Zwei solche Barretter werden in bekannter Weise in zwei Zweige einer WHEATSTONE'schen Brückenkombination eingebaut, deren andere Zweige zwei passend gewählte Widerstände aus Manganin und je eine Induktionsspirale aus Kupferdraht enthalten, um den Wechselstrom hoher Frequenz abzdrosseln; gleicherweise wird auch die die Stromquelle enthaltende Leitung mit einer solchen Drosselspule versehen.

Der Brückenstrom wird nun soweit verstärkt, bis das Maximum der brauchbaren Empfindlichkeit für die Brücke erreicht ist.

Dieser Strom muß für jedes Barretterpaar vorher festgestellt werden. Die Empfindlichkeit der Methode steigt mit wachsendem Strom in dem Barretter und mit wachsendem Temperatur- oder Stromfaktor c des Barretters = Widerstandszunahme für die Stromzunahme von 0,001 Ampère.

¹⁾ Hr. Prof. WINKELMANN machte mich freundlichst darauf aufmerksam, als ich ihm kürzlich meine Resultate mitteilte, daß schon Hr. BRAUN in einer Notiz über Thermophonie (Annalen d. Physik, 65, S. 358) den gleichen Grundgedanken entwickelt hat, um die Empfindlichkeit eines von PREECE konstruierten Apparates für elektrische Übertragung von Schallschwingungen zu erhöhen. In der gleichen Notiz weist Hr. BRAUN darauf hin, daß auch auf die von Hrn. SIMON gefundenen akustischen Erscheinungen im elektrischen Flammenbogen das gleiche Prinzip Anwendung findet.

²⁾ Siehe näheres darüber Elektrotechn. Zeitschrift 1903, p. 559.

Der Steigerung des Stromes wird dadurch eine Grenze gesetzt, daß auch der im Vakuum befindliche Hitzdraht bei Überschreitung einer bestimmten Stromstärke anfängt, inkonstante Verhältnisse zu geben, die sich durch Schwanken der Nullpunkt-Einstellung am Galvanometer bemerklich machen; wir konnten Ströme von 0,003 bis 0,005 Amp. im Barretter-Zweige verwenden.

Naturgemäß ist der Widerstand dieser feinen Drähte, auch wenn sie sich in einem sehr guten Vakuum befinden, von der Aufsentemperatur beeinflusst; der Widerstand nahm im Mittel für eine Temperaturzunahme von 1° C um etwa 0,095 % zu, das Widerstandsverhältnis zweier Barretter im gleichen Stromkreis änderte sich nur um 0,021 %.

Der Wert c schwankt außerordentlich auch bei Barrettern, die aus dem gleichen Draht hergestellt sind; wir haben bisher Werte zwischen 4 und 11 feststellen können. Die mit diesem Verfahren erreichte Empfindlichkeit dürfte nach überschläglicher Rechnung die Messung von hochfrequenten Wechselströmen der Ordnung 10^{-7} bis 10^{-8} Amp. zulassen; mit der exakten Bestimmung sind wir beschäftigt.¹⁾

Wieweit durch Verwendung von empfindlicheren Galvanometern²⁾ und besonderen Schutzvorrichtungen gegen Abgabe der Stromwärme

¹⁾ Genauere Angaben über die mit hochempfindlichen Mefsvorrichtungen für schnelle elektrische Schwingungen bisher erreichten Mefsergebnisse finden sich bei DUDELL (*Journal de Physique* 1905, Sér. 4, Bd. IV, S. 6). Bei seinen Instrumenten mit Widerständen gleicher Größenordnung wie bei den oben besprochenen Barrettern entspricht 1 Sc. ca. 1 bis 2×10^{-4} Amp. — H. BRANDES hat bei einem Thermo-element ca. 2×10^{-3} Amp. pro 1 Skalenteil auf einem Zeigergalvanometer (Stromempfindlichkeit 3×10^{-7} Amp. für 1 Sk.) erhalten. *Physikal. Zeitschrift* 1905, VI. Bd., S. 505. — TISSOT, der im *Journ. de phys* IV, Bd. 3, S. 525 (1904) einige Angaben über den Barretter macht, gibt über die Empfindlichkeit seiner Barretter an, daß er in einer 40–50 km von der Sendestation entfernten Empfangsstation für drahtlose Telegraphie noch Ausschläge am Galvanometer durch die Energie der anlangenden Wellen erhielt und daß in 8–9 km Entfernung mit einem DEPRez D'ARSONVAL-Galvanometer noch 40 Skalenteile zu beobachten waren (*L'éclairage électrique* 39, p. 393, 1904).

²⁾ Ich habe vorläufig ein von SIEMENS & HALSKE gebautes Spiegelinstrument nach DEPRez D'ARSONVAL, dessen bewegliches System ca. 30 Ω und eine Volt-empfindlichkeit von $7,5 \times 10^{-7}$ Volt pro Skalenteil besitzt, benutzt.

durch Leitung und störende äußere Temperatureinflüsse der Apparat noch vervollkommen werden kann, soll ebenfalls durch weitere Untersuchungen festgestellt werden.

Die große Empfindlichkeit des Barretters verbunden mit der hohen Exaktheit seiner Angaben ermöglicht es, eine große Reihe physikalischer Fragen aus dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie quantitativ zu untersuchen.

Versuche in dieser Hinsicht sind bisher von den Herren BRAUN, DUDELL und TISSOT durchgeführt.

Um die Leistungsfähigkeit der von uns hergestellten Barretter zunächst zu prüfen, habe ich die Resonanzkurve des Empfangssystems einer Station für drahtlose Telegraphie, welche 3,5 km vom Sender entfernt liegt, aufgenommen.

Der eine der beiden Barretter in oben erwähnter Brückenschaltung war direkt in das aus dem Luftleiter, zwei Abstimmspulen und einem Gendraht bestehende Empfangssystem eingeschaltet.

Die Stärke der vom Empfänger aufgenommenen Energie wird sehr nahe proportional den beobachteten Galvanometerausschlägen gesetzt werden dürfen.

Mit überraschender Schärfe treten deutlich und klar beide Maxima der Kurve, wie sie mit dem Wellenmesser nach DÖNITZ ¹⁾ in der Sendestation an dem mit 36% gekoppelten Sendesystem auch festgestellt wurden, hervor.

Die Messungen zeigen einen nicht erwarteten Grad von Übereinstimmung, so beobachtete ich unter gleicher Versuchsanordnung

um 10 h. 32 m.	79,4	}	Mittel 79,8	Skalenteile	am	Brückengalvanometer
	80,3					
„ 10 h. 48 m.	80,3	}	„ 80,4	„	„	„
	80,6					
„ 10 h. 57 m.	81,1	}	„ 81,9	„	„	„
	82,7					

¹⁾ Elektrotechn. Zeitschrift 1903, S. 920.

Der Apparat gab noch für ein absichtlich verstimmtes Empfangssystem Ausschläge bis zu 26 Skalenteilen, wo die hochempfindliche SCHLÖMILCH-Zelle¹⁾ versagte.

Mit Vorteil habe ich eine ähnliche Brücke mit etwa 6 mal unempfindlicherem Barretter für die Messungen mit dem oben genannten Wellenmesser verwendet, wobei sich die Möglichkeit einer loseren Koppelung zwischen Sender und Wellenmesser sehr günstig bemerklich macht; eine Beobachtung, die auch ZENNECK gemacht hat.²⁾

Gleichzeitig war es durch diese Anordnung möglich, eine scharfe Kontrolle der Energie im Sendesystem auszuüben und so zu regulieren, dass die Stromstärke im Sender innerhalb 1% konstant bleibt.

Unter Benutzung der Barretter lässt sich die Messung der Dämpfung mit grosser Genauigkeit ausführen; ebenfalls lassen sich die Systeme aufeinander bequem und sicher abstimmen.

Die Beobachtungen ergeben für die hier verwendete Kombination, dass die kürzere Welle dem Empfänger erheblich mehr Energie zuführt als die längere; auch die in der Sendestation aufgenommene Kurve ergab für die kürzere Welle die grössere Stromstärke; die Dämpfung war dagegen für die kürzere Welle kleiner als für die lange.

Hierin wird die Erklärung zu suchen sein, dass man in der Praxis jetzt den Empfänger auf die kürzere Welle abstimmt, wogegen früher auf die stärker gedämpfte längere abgestimmt wurde.³⁾

Die grosse Empfindlichkeit liess quantitativ messbar den Einfluss atmosphärischer Faktoren auf die Sendung elektrischer Wellen nachweisen.

An zwei aufeinander folgenden Tagen des Mai 1906, von denen der Spätnachmittag des ersten sehr sonnig und fast wolkenlos war, aber gegen Sonnenuntergang Bewölkung zeigte, der zweite sehr sonnig und völlig wolkenlos verlief, wurden in der Nähe der Maxima der Resonanzkurve folgende Ausschläge am Galvanometer beobachtet:

¹⁾ Elektrotechn. Zeitschrift 1903, S. 959.

²⁾ ZENNECK, Elektromagnetische Schwingungen u. drahtlose Telegraphie S. 612.

³⁾ RENDAHL, Elektrische Zeitschrift 1905, S. 87.

			Kurze Welle	Lange Welle
3. Mai 1906	Abends	6—8	77	52
	Nachts	11—2	112	81
4. Mai 1906	Mittags	12—1	78,6	56
	„	1—2	71	54
	Abends	6—7	76,9	52,4

Es ergibt sich also, daß die auf Jonisation der Luft zurückzuführende Schwächung am Tage gegenüber der Nacht — eine Erscheinung, welche der Praxis der drahtlosen Telegraphie lange bekannt ist — an diesen Tagen etwa 30—35 % betrug.

Gewitterstimmung macht sich natürlich weit stärker bemerklich. Am 6. April ging in 30 km Entfernung ein Gewitter nieder; in der Gegend der Sendestation graupelte es verschiedentlich; auf der Empfangsstation wurde der Sonnenschein durch vortretende Wolken häufig unterbrochen. Gegen Mittag sanken innerhalb 5 Minuten die vorher nahezu konstanten Galvanometerauschläge plötzlich: 141 — 134 — 125 — 116 — 104.

Völlige Sicherheit der Messungen erreichte ich bei diesen Untersuchungen erst, als ich in dem Empfangssystem ein Gegengewicht anbrachte. Die ersten durchgeführten Messungen, wobei das Empfangssystem nahe hinter dem Barreter geerdet war (Anschluß an die städtische Wasserleitung),¹⁾ ergaben insofern ein bemerkenswertes Resultat, als gegen Mittag und Mitternacht die Ausschläge am Galvanometer so erhebliche Schwankungen aufwiesen, daß es teilweise überhaupt nicht möglich war, die Resonanzkurve des Empfängers zu erhalten; während zwischen 5—7 Uhr Morgens und 5—8 Uhr Nachmittags nur unwesentliche Schwankungen in den Galvanometerauschlägen auftraten. Selbstverständlich blieben die Versuchsbedingungen stets die gleichen, und die Beobachtungssätze — welche sich teilweise über 4 Stunden erstreckten — wurden mehrfach wiederholt.

Die Erscheinungen sind vom Wetter nicht abhängig, denn sowohl bei klarem wie regnerischem Wetter erhielt ich die gleichen Resultate.

¹⁾ Daß die Erdung der Systeme für die Abstimmung ungünstig ist, hat schon Hr. BRAUN hervorgehoben und aus diesem Grunde die Anwendung eines Gegengewichtes vorgeschlagen und durchgeführt.

Entsprechende Aufnahmen der Resonanzkurve auf der Sendestation, wo der Sendedraht an eine künstliche Erde (Koksschüttung ca. 1 cbm mit eingebetteter Kupfergaze) angeschlossen ist, ergaben keine derartige Schwankungen.

Zur Aufklärung der Erscheinung sind noch ausgedehntere Untersuchungen erforderlich.

Über diese und damit zusammenhängende Untersuchungen werde ich später ausführlich berichten.

Zum Schluss möchte ich noch dankend hervorheben, daß ich bei diesen Untersuchungen durch die sorgsame Mitarbeit der Herren J. RAUTENKRANTZ, H. PREUSS und H. STRAUSS unterstützt werde.

Halle a. S., Mai 1906.

ÜBER KÜNSTLICHE METAMORPHOSEN

VON

GEORG KLEBS

MIT 12 TAFELN UND 21 FIGUREN IM TEXTE



In meiner Arbeit über Blütenvariationen (1905) habe ich den Nachweis geführt, daß die verschiedenen Merkmale von *Sempervivum Funkii* unter dem Einflusse der äußeren Bedingungen variieren. Besonders auffallend zeigte sich eine starke Variation in dem der Regel nach sehr konstanten Blütenbau. In erster Linie berücksichtigte ich die Veränderungen in den Zahlenverhältnissen der einzelnen Blütenglieder. Außerdem erwähnte ich bereits Umwandlungen in der Form, wie petaloide Staubblätter, staminoide Karpide u. s. w.

Diese Formumwandlungen traten noch relativ selten auf. Daher unternahm ich neue Untersuchungen, um mit verbesserter Methode solche Variationen sicherer und in größerem Umfange hervorzurufen. Der Erfolg entsprach den Erwartungen; über die nun gewonnenen Resultate soll die vorliegende Arbeit berichten.

Die Arbeit erstreckt sich indessen noch auf ein weiteres Gebiet der Formumwandlungen, da auch die Metamorphose von Infloreszenzen in Laubtriebe, die bereits früher an einigen Beispielen beschrieben wurde (Klebs 1903, S. 69), auf Grund neuer Untersuchungen behandelt wird. Diese Beobachtungen sollen die im 3. Abschnitt vertretenen Anschauungen über die Ursachen der Anomalieen stützen und dann als Ausgangspunkt für das im 4. Abschnitt behandelte Problem ihrer Erblichkeit dienen.

Für die Veränderungen der Blütenteile und der Infloreszenzen will ich den alten Ausdruck Metamorphosen verwenden, ohne auf die Wandlungen des Begriffes näher einzugehen, da Goebel (1883, S. 104; 1898, S. 3) schon mehrmals in trefflichster Weise das Thema behandelt hat. Man könnte sich bei der Definition beruhigen, die bereits

Moquin-Tandon (1841, S. 194) vorurteilsfrei und klar gegeben hat: „On designe sous le nom de métamorphoses certaines modifications profondes qui changent la nature et les fonctions des organes appendiculaires et leur donnent la structure et le rôle qui appartient à d'autres organes.“ Aber in einer Beziehung ist durch die neueren Forschungen, die besonders Goebel angebahnt hat, ein wesentlicher Fortschritt gemacht worden, der die alte Definition unzureichend erscheinen läßt. Er liegt in dem Nachweis, daß gewisse Metamorphosen auf experimentellem Wege herbeigeführt werden können, wie z. B. die Umwandlung von Knospenschuppen in Laubblätter oder die von Sporophyllen (*Onoclea*) in Laubblätter (Goebel 1880. 1887).

Ein großes Gewicht legt Goebel (1898, S. 6) auf den engen Zusammenhang einer solchen realen Formänderung mit einer Funktionsänderung; er möchte den Begriff der Metamorphose auf die Fälle beschränken, wo der Funktionswechsel deutlich hervortritt, um eine solche Umbildung von kleinen Formänderungen, z. B. der Laubblätter zu unterscheiden. Doch liegt auch hier das Entscheidende in dem verschiedenen Grade der Umbildung. Für die weiteren Betrachtungen können wir die Funktionsänderung ganz aus dem Spiele lassen. Denn für die hier interessierende Frage nach den Ursachen der Metamorphose kommt die sekundär damit verbundene Änderung der Funktion nicht in Betracht.

Wenn man mit Goebel von einer wirklichen (realen) Metamorphose sprechen will, so muß man sich klar machen, daß damit auch nur ein bildlicher Ausdruck gegeben ist. Schon bald nach der Anerkennung der Goetheschen Metamorphosenlehre hat man, wie aus den Bemerkungen Turpins (1837, S. 9) hervorgeht, den Einwand gemacht, daß es sich gar nicht um eine Umwandlung, sondern um den Ersatz eines Organes durch ein anderes handle. Turpin wehrt sich dagegen, indem er auf die bekannten Misch- oder Übergangsformen zweier Organe hinweist. Der gleiche Einwand ist auch wieder in neuester Zeit gemacht worden, z. B. von Krasan (1903, S. 50), der den Ausdruck Metamorphose für die individuelle Entwicklung bewahren möchte. Der Einwand ist zweifellos berechtigt; denn tatsächlich wandelt sich nicht ein Organ in ein anderes um. Der Ausdruck „Ersatz“ gibt andererseits keinen sehr treffenden Ausdruck für die so

häufigen Zwischenformen. Eine andere Bezeichnung hat Bateson (1894, S. 85) in seinem wichtigen Werke über Variation vorgeschlagen, da der Begriff Metamorphose bei den Tieren (Insekten) eine andere Bedeutung hat. Bateson spricht von einer Homoeosis „for the essential phenomenon is not that there has merely been a change but that something has been changed into the likeness of something else.“ An und für sich wäre gegen den Ausdruck nicht viel einzuwenden als höchstens daß auch er für die zahllosen Zwischenformen nicht sehr bezeichnend ist.

Weniger einverstanden kann ich mich mit dem Vorschlage von Lotsy (1904) erklären, die vorliegenden Erscheinungen als Biaiometa-morphose zu bezeichnen. Lotsy faßt diejenigen normalen Gestaltungen, die auf Grund äußerer Reize entstehen, als Biaiomorphose (Zwangsform) zusammen. Für die Änderung der Zwangsform durch ungewohnte Reize verwendet er dann Biaiometa-morphose. Wer auf dem von mir vertretenen Standpunkte steht, für den ist das Beiwort „Zwang“ nicht nötig, weil es andere als Zwangsformen überhaupt nicht gibt.

Welchen Ausdruck man verwenden möge, die Sache selbst läßt sich wohl in folgender Weise ausdrücken. In einer aus teilungsfähigen Zellen bestehenden jungen Anlage eines Organes muß man eine Menge verschiedener Entwicklungsfähigkeiten als Potenzen voraussetzen. Unter den gewöhnlichen äußeren Bedingungen sind die am Entstehungs-ort der Blüte wirksamen inneren Bedingungen derartig beschaffen, daß in gewissen Anlagen eine Potenz, z. B. die des Staubblattes, allein verwirklicht wird (die prospektive Potenz im Sinne von Driesch), während die anderen latent bleiben. Unter veränderten äußeren und inneren Bedingungen wird die dem Ort entsprechende Hauptpotenz nicht verwirklicht sondern durch eine andere in der Anlage vorhandene völlig ersetzt; oder es kommen gleichzeitig zwei oder mehrere Potenzen zur Entfaltung. Zur Beurteilung der Frage, welche Hauptpotenz vorauszusetzen ist, dient die Kenntnis der Zahl- und Stellungsverhältnisse der Organe, unterstützt durch die Entwicklungsgeschichte. Sowie aber diese Zahl- und Stellungsverhältnisse überhaupt stark verändert sind, hört jede Möglichkeit einer sicheren Beurteilung auf. Wenn z. B. in anormalen Blüten von *Sempervivum* normale Staubblätter mitten unter den Karpiden stehen, so weiß man nicht, ob in einer Anlage mit

ursprünglicher Hauptpotenz des Karpids ausschließlich die Staubblattpotenz verwirklicht ist, oder ob eine Staubblattanlage nur durch Verschiebung an den Ort gekommen ist. Diese Schwierigkeiten haben im übrigen keine wesentliche Bedeutung. Ich werde im weiteren ruhig die Worte Metamorphose oder Umwandlung als bequeme bildliche Ausdrücke verwenden ohne den geringsten Anspruch, damit irgend etwas „erklären“ zu wollen.

Erster Abschnitt.

Über Blütenmetamorphosen bei *Sempervivum*.

Der Ausgangspunkt der Untersuchung lag in der Frage, ob es möglich sei, die in den Jahren 1903—04 relativ selten beobachteten Metamorphosen durch eine geeignetere Kulturmethode zu steigern. Eine Zuchtwahl kam dabei nicht in Betracht. Vielmehr war die Aufgabe, an beliebigen zufällig vorhandenen Individuen Blütenmetamorphosen hervorzurufen, nachdem man sich vorher überzeugt hatte, daß die betreffenden Individuen normal gebaute Blüten bilden.

Die *Sempervivum*-Arten erwiesen sich als besonders geeignet für solche Untersuchungen, weil sie nach den bisherigen Erfahrungen gerade auffallend wenige Anomalien gezeigt hatten. Die einzige Ausnahme ist das seit alter Zeit auf Dächern und Mauern kultivierte *Sempervivum tectorum*. Bei dieser Rasse ist die Umwandlung von Staubblättern in Karpide bereits von Schmiedel (1782) beobachtet und von zahlreichen Gelehrten genauer untersucht worden; es ist eine durch diesen Charakter ausgezeichnete Kulturrasse, die übrigens in meinem Garten bisher nicht vorhanden war. Erst vor kurzem habe ich mir Rosetten besorgt, die aber noch nicht geblüht haben. Mehr gelegentlich ist eine entsprechende Umwandlung bei *S. montanum* durch Petit-Thouars (1807, S. 31, citiert nach Moquin-Tandon) und Masters (1886, S. 350), bei *arachnoideum* durch Wydler festgestellt worden. Wydler (1860, S. 384) ferner Hicks (1891) beschreiben bei der gleichen Species eine Umwandlung von Karpiden in Staubblätter. Andere Metamorphosen, vor allem die sonst so häufige Umwandlung der Staubblätter in Blumenblätter scheint überhaupt niemals beobachtet worden zu sein, ebensowenig wie bei anderen Crassulaceen. Über andere Veränderungen der Blüten gibt es noch eine Notiz von Chodat (1889, S. 386), der bei nicht näher genannten Arten Blüten mit fehlenden

episepalen Staubblättern beobachtet hat. In einer anderen Notiz (1888, S. 586) erwähnt Chodat das Vorkommen von kurz- und langgriffeligen Blüten bei gewissen *Sempervivum*-Arten.

Jedenfalls lehren alle Erfahrungen, daß selbst trotz der Kultur in Gärten die *Sempervivum*-Arten im allgemeinen sehr wenig geneigt sind, Blütenmetamorphosen hervorzubringen.

Die zu den Versuchen benutzten Arten sind seit langer Zeit an einem trockenen, sonnigen Standorte kultiviert und auf vegetativem Wege vermehrt worden. Trotz der wenig günstigen Verhältnisse könnten doch die Individuen infolge der längeren Gartenkultur zu den Versuchen etwas geeigneter geworden sein als etwa direkt vom natürlichen Standorte hergeholt. Ich lasse diese Möglichkeit unentschieden; die Entscheidung ist für meine Versuche nicht wesentlich. Denn durch die Beobachtungen der letzten 3 Jahre an dem gleichen Material liefs es sich sicher feststellen, daß die untersuchten Arten auch bei besserer Kultur keine Blütenmetamorphosen aufweisen, so lange die für ihre Bildung maßgebenden äußeren Bedingungen walten. Selbst manche Änderungen von diesen, z. B. die Kultur in starken Nährlösungen, feuchter Luft, rotem oder blauem Licht, ebenso wie verschieden ausgeführte Verletzungen rufen an und für sich keine Metamorphosen hervor. Im Jahre 1904 gelang es mir noch nicht sie an den Arten mit großen Rosetten, wie *albidum*, *Mettenianum*, zu beobachten; im Sommer 1905 traten Metamorphosen an jedem dem Versuch unterworfenen Individuum auf.

Von größter Bedeutung für die Entstehung aller Blütenvariationen ist die Einwirkung veränderter Ernährungsbedingungen kurz vor oder während der ersten Anlagen der Blüten. Für *Sempervivum Funkii* kann man zwei verschiedene Wege einschlagen.

Ich erinnere daran, daß die blühreife Rosette im Mai einen beblätterten Stengel treibt, der im Juni am Ende mehrere Blütenwickel trägt (Fig. 1). Will man an diesen terminalen Blüten Variationen bewirken, so müssen die Rosetten im ersten Frühjahr im März in gut gedüngtem feuchtem Boden eines Warmbeetes kultiviert werden. Dann treten im Juni Rosetten in den Blütenwickeln auf und daneben oft stark veränderte Blüten (Klebs 1905, S. 249). Die Methode hat aber den Nachteil, nicht bei jedem Individuum zum Ziele zu führen. Man

kann sich darüber täuschen, ob eine Rosette blühreif ist oder nicht; ferner kommt es auf den Zufall an, den richtigen Moment für die Kultur zu treffen, da individuelle Differenzen der einzelnen Rosetten mitspielen.

Sehr viel sicherer erweist sich die zweite Methode, die auf der Eigenschaft der Infloreszenzachse beruht, unter Umständen aus den Achseln ihrer Blätter neue Infloreszenzen oder auch einzelne Blüten zu erzeugen. An und für sich können solche „laterale“ Blüten ebenso typisch gebaut sein wie die terminalen. Bei sehr guter Ernährung im Jahre vorher und sehr günstigen Blütenbedingungen entstehen bei *S. Funkii* ausnahmsweise laterale Infloreszenzen resp. Blüten von normalem Bau (Klebs 1905, S. 177). Die anderen Arten wie *Moggridgei*, *albidum* etc. bilden überhaupt regelmäßig aus den Achseln der oberen Blätter solche Infloreszenzen. Diese entstehen in allen solchen Fällen gleichzeitig oder wenig später als die terminalen Infloreszenzen.

Ganz anders verhalten sich diejenigen Blüten, die mit dem Abblühen der terminalen resp. auch lateralen Infloreszenzen neu in den Achseln der übrigen Stengelblätter entstehen. Dann lassen sich durch die vorhergehenden und weiter fortwirkenden äußeren Bedingungen die tiefgehendsten Veränderungen herbeiführen bei allen bisher geprüften Arten. Schon 1904 hatte ich das Versuchsmaterial vorbereitet;



Fig. 1. *Sempervivum Funkii*.¹⁾

Am 15. Mai 1903 im Freiland kultiviert, dann im Topf überwintert; Sommer 1904 blühend, fotogr. 20. Juni 1904.

¹⁾ Die in dieser Arbeit abgebildeten Photographien verdanke ich Herrn Dr. Küster.

die Rosetten wurden auf gut gedüngtem Gartenland weit auseinander gepflanzt, so daß sehr kräftige, große Rosetten entstanden. Im Frühjahr 1905 wurden sie teils in Töpfe teils in größere Kästen gesetzt und mit verschiedenen Düngemitteln behandelt, worauf ich später noch eingehen werde. Besonders vorteilhaft erwies sich ein neues Warmbeet, das durch die Warmwasserheizung des Victoriahauses geheizt wurde. Das Beet, das $\frac{1}{2}$ m mit guter Erde gefüllt war, lag frei und sonnig und war mit Glasfenstern bedeckt. Während des ganzen Sommers wurden keine Schattendecken heraufgelegt, sondern es wurde nur am Tage ein wenig gelüftet. Die Temperatur des Bodens schwankte in den Monaten April bis Juli zwischen 18 und 26°; die Lufttemperatur stieg in der Sonne bis auf 30—35°. Die Oberfläche des Beetes wurde nicht gleichmäßig feucht gehalten; vielmehr wartete man mit dem Gießen, bis die obere Erdschicht deutlich abgetrocknet war.

Sobald die Rosetten in voller Blüte standen, wurde der obere Teil der Infloreszenz abgeschnitten und in Wasser gestellt; die Blüten, auch die, welche nach dem Abschneiden sich noch entfalteten, wurden untersucht. Nach 4—5 Wochen traten in den Blattachsen des Infloreszenzstumpfes die neuen stark veränderten Blüten hervor. Zur genaueren Untersuchung wurden die Exemplare in Töpfe gesetzt und auf den Versuchsbalkon gestellt.

In meiner früheren Arbeit über *S. Funkii* unterschied ich terminale und laterale Blüten; diese Unterscheidung ist für die größeren Arten mit normalen lateralen Blüten nicht bezeichnend genug. Ich will daher lieber zwei andere Ausdrücke gebrauchen. Die Blüten, welche in der normalen Blütenperiode entstehen, werden als archegene, diejenigen, welche später nach Abblühen oder Entfernung der ersteren entstehen, als neogene bezeichnet werden.

Außer den schon früher untersuchten Arten *Funkii* und *Moggridgei* benutzte ich zu den neuen Versuchen *S. albidum* und *Mettenianum*, dazu einzelne Exemplare anderer Arten. Für die genaue Bestimmung der meisten dieser Arten kann ich nicht einstehen; die heute vorliegenden Diagnosen sind größtenteils ungenügend, eine kritische systematische Bearbeitung der Gattung *Semprevivum* fehlt bisher. Die wesentlichen Resultate werden durch die Unsicherheit in der Bestimmung nicht berührt, da schon nach meinen jetzigen Erfahrungen

alle Arten der Untergattung *Eusempervivum* sich ähnlich verhalten. Aber für die Erkenntnis der spezifischen Unterschiede, die sicher existieren, ebenso wie für die Nachprüfung wäre natürlich eine genaue Bestimmung sehr wünschenswert.

Ich gliedere diesen Abschnitt in drei Teile:

- I. Vergleichung der archeogenen und neogenen Blüten.
- II. Darstellung der verschiedenen Metamorphosen der Blütenorgane.
- III. Übersicht der Blütenvariationen.

I. Vergleichung der archeogenen (typischen) und neogenen (veränderten) Blüten.

Eine deutliche Vorstellung von den experimentell hervorgerufenen Variationen ergibt sich erst dann, wenn die typischen Verhältnisse festgestellt worden sind. Sie treten in einfacher und klarer Weise bei der Betrachtung der Gliederzahlen hervor, die den verschiedenen Kreisen der Kelch-, Blumen-, Staub- und Fruchtblätter zukommen. Der allgemeine Blütenbau bei *Sempervivum* wird durch die schematischen Figuren (Fig. 2, I—III) dargestellt; für alle untersuchten *Sempervivum*-Arten gilt die Formel

$$K_n C_n A_{n+n} G_n$$

wo n innerhalb gewisser näher festzustellender Grenzen schwankt. Die normale Alternation der Glieder ist dadurch verändert, daß der äußere epipetale Staubblattkreis den Blumenblättern opponiert ist; mit ihnen alterniert der innere episepale Staubblattkreis. Auf die Zahl der Kelchblätter gehe ich im weiteren nicht ein, ich beschränke mich auf die drei Hauptorgane. In der früheren Arbeit habe ich die Zählungen für *S. Funkii* angegeben; ich führe die Ergebnisse der neuen Versuchsreihe an. Für die anderen Arten gebe ich erst hier die Resultate der Zählungen. Ich erinnere daran, daß die typischen archeogenen Blüten von den gleichen Individuen stammen wie die veränderten neogenen.

1. *Sempervivum Funkii*¹⁾ Koch.

In einer Tabelle stelle ich die früheren Beobachtungen an 600 Blüten und die neueren an 750 Blüten zusammen; ich ordne sie nach

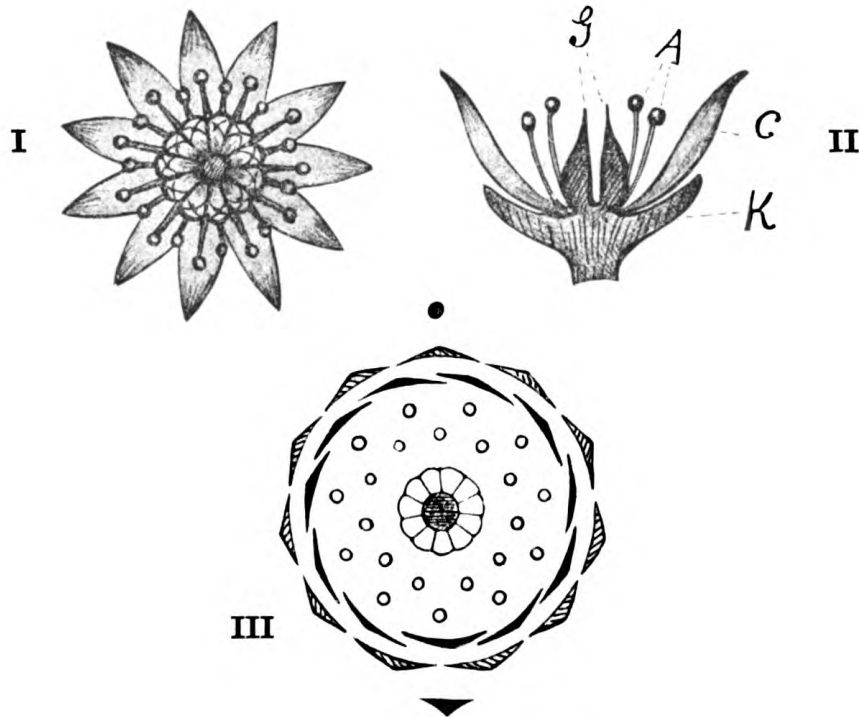


Fig. 2. *Sempervivum Funkii*.

Schematische Darstellung des Blütenbaues.²⁾

I Aufsicht einer Blüte mit 11 Blumenblättern, 22 Staubblättern, 11 Karpiden. — II Längsschnitt einer Blüte, *K* = Kelchblätter, *C* = Blumenblätter, *A* = Staubblätter, *G* = Fruchtblätter (Karpide). — III Diagramm einer 11 zähligen Blüte.

der Zahl der Blumenblätter und gebe in der letzten Reihe das Gesamtergebnis, aus dem auch die prozentische Verteilung der Blüten mit den verschiedenen Gliederzahlen hervorgeht.

¹⁾ In der Originalbeschreibung hat Koch (Flora 1832, S. 2) den Namen nach seinem Freunde Funck *Funckii* geschrieben, später aber (vgl. Synopsis der deutschen Flora, 2. Aufl., 1846, S. 307) immer *Funkii* ohne *c.* Ich habe stets die letztere Schreibweise angewendet.

²⁾ Die kleinen Schüppchen an der Basis der Karpide sind nicht berücksichtigt.

Tabelle I.
Typische Blüten von *Sempervivum Funkii*.

Zahl der Blumen- blätter	600 Blüten 1903—1904		750 Blüten 1905		1350 Blüten 1903—1905
	Zahl der Blüten	auf 100	Zahl der Blüten	auf 100	auf 100
9	12	2	6	0,8	1,3
10	63	10,5	131	17,4	14,5
11	309	51,5	374	49,8	<u>50,6</u>
12	151	25,1	171	22,8	23,8
13	32	5,3	51	6,8	6,1
14	18	3,0	11	1,4	2,1
15	14	2,3	5	0,6	1,4
16	1	0,2	1	0,2	0,1

Obwohl die Individuen von 1905 besser ernährt waren als die Mehrzahl derjenigen von 1903 und 1904, so war das Resultat wesentlich übereinstimmend. Es ergaben sich die gleichen Grenzen und eine ähnliche prozentische Verteilung der Gliederzahlen. Ein kleiner Unterschied zeigte sich bei dem Vergleich der Blüten mit 10 und 12 Blumenblättern. Trotz der besseren Ernährung waren bei den Individuen von 1905 die 10er Blüten etwas häufiger, die 12er Blüten in etwas geringerer Zahl. Das hängt damit zusammen, daß bei den Pflanzen von 1905 vielfach sofort laterale Blütenzweige entwickelt waren, bei denen gegenüber den terminalen die Zahl der Blumenblätter ein wenig herabgedrückt ist (Klebs l. c. S. 177).

Die archeogenen Blüten lassen sich demgemäß kurz charakterisieren:

Grenzen der Gliederzahlen . . . $n = 9—16$

Hauptzahl (zu 50 %) $n = 11$.

Von besonderer Bedeutung ist das Zahlenverhältnis der verschiedenen Blütenglieder. Nach der Formel sind die Blumen- und Fruchtblätter (Karpide) gleichzählig; die Staubblätter finden sich als zwei Kreise in doppelter Zahl. Unter den 600 Blüten von 1903—04 wichen 76 Blüten von der Formel ab, d. h. 12,6%; unter den 750 Blüten von 1905 fanden sich Abweichungen bei 119 Blüten, d. h. die Zahl der ab-

weichenden Blüten = 15,8 ‰. Die kleine Zunahme der Abweichungen gegenüber 1903—04 steht gewifs im Zusammenhang mit der stärkeren vorübergehenden Ernährung.

Die Abweichungen selbst sind bei den archeogenen Blüten stets sehr klein. Im Verhältnis zu der Zahl der Blumenblätter handelt es sich um ein Mehr oder Minder von 1—2 Staubblättern oder Karpiden. Nur in ganz wenigen Fällen waren andere Unregelmäßigkeiten vorhanden, wie die Verwachsung zweier Staubblätter, eine Verkümmernng von Antheren. Stärkere Abweichungen, vor allem Metamorphosen, waren in keiner Blüte nachweisbar.

Ein völlig verändertes Bild boten die 468 neogenen Blüten dar; der Umfang und der Grad der Abweichungen war im Vergleich zu den Versuchen von 1903—04 im Jahre 1905 noch beträchtlich gesteigert. Was zunächst die Abweichungen von der Formel $C_n A_{n+n} G_n$ betrifft, so fanden sich vor

unter 287 Blüten 1903—04	187	veränderte Blüten d. h.	65 ‰
„ 468 „ 1905	381	„ „ „	81,4 ‰.

Wenn man von dem vorhin festgestellten Typus ausgeht, der durch die Gliederzahlen $n = 9—16$ bestimmt ist, so muß man als abweichend auch diejenigen Blüten bezeichnen, die zwar das normale Verhältnis der Glieder, aber vom Typus abweichende Zahlen darbieten.

Unter 287 Blüten 1903—04 hatten 100 das normale Verhältnis; davon war bei 36 Blüten $n = 8$, bei 14 Blüten $n = 7$, bei 1 Blüte $n = 6$. Zieht man diese 51 Blüten zu den abweichenden, ergibt sich für 1903—04

Gesamtabweichung 238 Blüten = 82,9 ‰.

Unter 468 Blüten 1905 hatten 87 Blüten das normale Verhältnis; aber es war

bei 44 Blüten	$n = 8$
„ 13 „	$n = 7$
„ 4 „	$n = 6$.

Folglich fanden sich unter 468 neogenen Blüten $381 + 61 = 442$ abweichende.

Gesamtabweichung = 94,4 ‰.

Man ersieht daraus, daß hier bei *S. Funkii* die Blüten unter

den geeigneten Bedingungen einen sehr hohen Grad der Variabilität erreichen. Der Unterschied gegenüber den typischen archehenen Blüten ist in Wirklichkeit noch viel auffallender, weil der Grad der Abweichung ungemein gesteigert ist. Aber auch gegenüber den neogenen Blüten von 1903—04 ist bei den Blüten von 1905 eine Steigerung der Variabilität unverkennbar, was sich besonders in der Zunahme der eigentlichen Metamorphosen zeigt.

Die Verteilung der Gliederzahlen unter den variierenden Blüten ist eine ganz andere als bei den typischen (Klebs 1905, S. 274). Für die neogenen Blüten von 1905 liefs sie sich nur mit einer gewissen Willkür feststellen hauptsächlich wegen der Metamorphosen: der Petalodie der Staubblätter u. s. w. Ich will aber doch in der Tabelle II die Blüten nach der Zahl der Blumen-, Staub- und Fruchtblätter ordnen. Als fehlend bezeichne ich die Organe auch dann, wenn sie so verkümmert waren, dafs eine Zählung nicht ausführbar war. Die prozentische Berechnung gebe ich nur für die höheren Zahlen.

Das Gesamtergebnis der Zählungen für die 3 Organe stimmt mit dem früher gewonnenen (l. c. S. 274) überein: statt der Hauptzahl $n = 11$ in 50 % der Fälle bei den archehenen Blüten ist die Zahl 8 bei den neogenen getreten, allerdings in wesentlich schwächerem Grade (19—26 %). Die Grenzen sind hinausgeschoben, bei den Blumenblättern nach Plus und Minus, bei den Staubblättern und Karpiden wesentlich nach Minus. Bei den Staubblättern walten die geraden Zahlen vor. Die Unterschiede der archehenen und neogenen Blüten lassen sich in folgender Weise kurz zusammenfassen.

Archegene Blüten:

Grenzen von n für Blumen-, Staub- und Fruchtblätter 9—16

Hauptzahl $n = 11$ in 50 % der Fälle

Abweichungen von $C_n A_{2n} G_n$ in 15,8 %.

Neogene Blüten:

Grenzen von n für Blumenblätter 4—21, Hauptzahl 8 in 26 %

„ „ n „ Karpide . . 0—18, „ 8 „ 20 %

„ „ $2n$ „ Staubblätter . 0—28, „ 8 „ 19 %

Abweichungen von $C_n A_{2n} G_n$ in 81,4 % der Fälle

Gesamtabweichung vom Typus in 94,4 %.

Tabelle II.

468 neogene Blüten von *S. Funkii*
geordnet nach der Zahl der Blumen-, Staub- und Fruchtblätter.

Glieder- zahl <i>n</i>	Blumenblätter		Karpide		Staubblätter	
	Zahl der Blüten	auf 100	Zahl der Blüten	auf 100	Zahl der Blüten	auf 100
0	—	—	50	10,7	15	3,2
1	—	—	3	—	3	—
2	—	—	1	—	2	—
3	—	—	5	—	3	—
4	4	—	5	—	4	—
5	—	—	9	—	4	—
6	17	3,6	14	3,0	4	—
7	45	9,6	53	11,3	3	—
8	<u>122</u>	<u>26,0</u>	<u>93</u>	<u>19,8</u>	6	—
9	86	18,4	72	15,4	4	—
10	67	14,7	59	12,6	8	1,7
11	46	9,8	48	10,3	5	1,1
12	21	4,5	22	4,7	32	6,8
13	16	3,4	9	1,9	25	5,3
14	18	3,8	10	2,0	49	10,4
15	7	1,5	6	1,3	20	4,2
16	9	1,9	2	0,4	<u>91</u>	<u>19,4</u>
17	2	—	3	—	40	8,3
18	5	—	4	—	51	10,9
19	2	—	—	—	25	5,3
20	—	—	—	—	27	5,7
21	1	—	—	—	9	1,9
22	—	—	—	—	20	4,2
23	—	—	—	—	6	1,3
24	—	—	—	—	8	1,7
25	—	—	—	—	3	—
28	—	—	—	—	1	—

2. *Sempervivum Mettenianum* Schnittsp. u. Lehm.

Die im botanischen Garten (Halle) unter dem Namen *Mettenianum* kultivierte Art läßt sich nicht mit Sicherheit bestimmen. Die Individuen

entsprechen wohl der Original-Diagnose von Schnittspahn und Lehmann (1855, S. 4); aber das will bei den wenig charakteristischen Unterschieden nicht viel bedeuten. Regel (1872, S. 235) hat jedenfalls Recht, das *Mettenianum* in nahe Beziehung zur Kollektivspecies *tectorum* zu setzen. Bereits Willkomm (1863, S. 483) hatte *Mettenianum* als var. *parviflorum* zu *tectorum* gestellt.

Die Größe der Rosetten, die auf der Fläche glatten, am Rande behaarten Blätter, der reich verzweigte Blütenstand, die relativ hohe Gliederzahl der Blüten, alles weist auf die *tectorum*-Gruppe hin. Indessen stellt das *Mettenianum* meines Gartens eine gut unterscheidbare Form vor; die Blätter haben durch einen Wachstüberzug einen grau-grün bis rötlich schimmernden metallischen Glanz, der besonders bei der Kultur im Warmbeet auffällt, wenn die rote Färbung zurücktritt. Die Versuche von 1903—04 mit einzelnen Exemplaren dieser Art hatten keine positiven Resultate geliefert. Ich pflanzte 1904 eine Anzahl auf ein Gartenbeet und setzte 10 Rosetten April 1905 in ein neues Warmbeet und behandelte sie nach der früher angegebenen Methode (S. 10).

Von diesen Exemplaren wurden die abgeschnittenen archegenen Blüten untersucht. Die folgende Tabelle gibt Aufschluss über die Zahl der Blumenblätter.

Tabelle III.

240 typische archegene Blüten von *S. Mettenianum*.

Zahl der Blumenblätter	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Zahl der Blüten	5	19	75	<u>97</u>	29	12	1	1	1
auf 100	2,0	7,9	31,2	<u>40,4</u>	12,0	5,0	0,4	0,4	0,4

Grenzen von $n = 10—18$ Hauptzahl $n = 13$ in 40 % der Fälle.

Aus der Zählung der Staubblätter und Karpide ergaben sich im Hinblick auf die typische Formel unter den 240 Blüten

Abweichungen bei 53 Blüten d. h. 22 %.

Von den 10 Versuchsexemplaren wurden 500 neogene Blüten untersucht. In bezug auf das Verhältnis der Glieder (Formel $C_n A_{2n} G_n$) zeigten sich

Abweichungen bei 429 Blüten d. h. 85,8 %.

Betrachte ich als typische Grenzzahlen $n = 10-18$, so zeigen unter 71 neogenen Blüten mit typischem Verhältnis 32 Abweichungen der Zahl, nämlich 21 mit $n = 9$, 8 mit $n = 8$, 3 mit $n = 7$.

Gesamtabweichung = 92,2 %.

In dem Grade und der Art der Abweichungen übertrifft *Mettenianum* noch *Funkii*, wie sich aus den weiteren Darlegungen ergeben wird. Über die Verteilung der Gliederzahlen für die drei Hauptorgane der Blüte erhält man aus Tabelle IV näheren Aufschluss.

Die Tabelle lehrt, daß auch bei *Mettenianum* eine durchschnittliche Verminderung der Gliederzahlen eingetreten ist. Statt der Hauptzahl 13 zeigen sich in ziemlich gleichem Grade die Zahlen 9 und 10, bei den Staubblättern 8 und 9. Zum Schluß ein kurzer Vergleich der typischen und veränderten Blüten.

Archeogene Blüten:

Grenzen von n für Blumen-, Staub- und Fruchtblätter 10—18

Hauptzahl $n = 13$ in 40 %

Abweichungen von der Formel 22 %.

Neogene Blüten:

Grenzen von n für Blumenblätter 0—24

Hauptzahlen $n = 9$ (17,8 %) und 10 (17,4 %).

Grenzen von n für Fruchtblätter 0—24

Hauptzahlen $n = 9$ (18,6 %) und 10 (18,8 %).

Grenzen von $2n$ für Staubblätter 0—38

Hauptzahlen $n = 8$ (12 %) und 9 (10 %)

Abweichungen von der Formel in 85,8 % der Fälle

Gesamtabweichung vom Typus in 92,2 %.

3. *Sempervivum albidum* Schnittsp. u. Lehm.

Unter diesem Namen findet sich im Halleschen Garten eine Art mit großen grünen Rosetten vom *tectorum*-Typus die Blätter erscheinen

500 neogene Blüten von *S. Mettenianum*
geordnet nach der Zahl der Blumen-, Staub- und Fruchtblätter.

Glieder- zahl <i>n</i>	Blumenblätter		Karpide		Staubblätter	
	Zahl der Blüten	auf 100	Zahl der Blüten	auf 100	Zahl der Blüten	auf 100
0	51	10,2	22	4,4	6	1,2
1	5	—	—	—	2	—
2	4	—	3	—	6	—
3	7	—	1	—	5	—
4	1	—	1	—	3	—
5	7	—	3	—	5	—
6	10	2,0	6	1,2	3	—
7	30	6,0	31	6,2	3	—
8	77	15,4	51	10,2	4	—
9	<u>89</u>	<u>17,8</u>	<u>93</u>	<u>18,6</u>	5	1,0
10	<u>87</u>	<u>17,4</u>	<u>94</u>	<u>18,8</u>	6	1,2
11	57	11,4	68	13,6	17	3,4
12	30	6,0	44	8,8	26	5,2
13	18	3,6	24	4,8	21	4,2
14	10	2,0	18	3,6	27	5,4
15	3	0,6	15	3,0	31	6,2
16	4	0,8	6	1,2	<u>52</u>	<u>10,4</u>
17	1	—	4	—	26	5,2
18	3	—	2	—	<u>60</u>	<u>12,0</u>
19	1	—	1	—	24	4,8
20	2	—	2	—	45	9,0
21	1	—	1	—	27	5,4
22	1	—	1	—	25	5,0
23	—	—	—	—	15	3,0
24	1	—	1	—	19	3,8
25	—	—	—	—	9	1,8
26	—	—	—	—	12	2,4
27	—	—	—	—	3	—
28	—	—	—	—	4	—
29	—	—	1	—	1	—
30	—	—	—	—	4	—
32	—	—	—	—	1	—
33	—	—	—	—	1	—
34	—	—	—	—	1	—
36	—	—	—	—	1	—
38	—	—	—	—	1	—

länger und schmaler als z. B. bei *Mettenianum*. Die Blumenblätter zeichnen sich durch ihre grünlichweiße Färbung aus, wenn auch hier und da ein zartes Rot erscheint. Die Beschreibung von Schnittpahn und Lehmann (1855, S. 4) paßt auf diese Art. Ihrem ganzen Verhalten nach ist sie spezifisch verschieden von *Mettenianum*; sie erweist sich im Vergleich mit ihm wie mit *Funkii* unter den angewandten Versuchs-Bedingungen weniger variabel.

Tabelle V.

276 typische archegene Blüten von *S. albidum*.

Zahl der Blumenblätter	10	11	12	13	14	15
Zahl der Blüten . .	4	32	68	<u>107</u>	59	6
auf 100	1,6	11,6	24,6	<u>39,7</u>	21,3	2,2

Aus der Tabelle ergibt sich:

Grenzen von $n = 10 - 15$

Hauptzahl $n = 13$ in 39% der Fälle.

Die relativ größere Konstanz gegenüber *Funkii* und *Mettenianum* erkennt man aus der geringen Zahl der Abweichungen. Von dem typischen Verhältnis wichen nur 11 Blüten ab mit einem Mehr oder Minder von 1, seltener 2 Staub- oder Fruchtblättern.

Abweichung = 4%.

Die 276 neogenen Blüten der gleichen Individuen wiesen entsprechende Veränderungen wie bei den ersten Arten auf, aber in geringerem Grade.

Abweichungen von der Formel bei 172 Blüten d. h. 62%.

Unter den normal gebauten Blüten waren nur 6 mit einer vom Typus abweichenden Gliederzahl.

Gesamtabweichung = 64,5%.

Bezüglich der Verteilung der Gliederzahlen beschränke ich mich darauf die Resultate der Zählung zu geben.

Grenzen von n für Blumenblätter 0—15

Hauptzahlen $n = 10$ (23,2%) und 11 (25%).

Grenzen von n für Karpide 0—15

Hauptzahlen $n = 10$ (26,8%) und 11 (27,1%).

Grenzen von $2n$ für Staubblätter 10—31

Hauptzahlen $n = 10$ (21%) und 11 (21,7%).

4. *Sempervivum Moggridgei* de Smet.

Diese Art ist an ihren Rosetten leicht und sicher zu erkennen, da die länglich keilförmigen, fast kahlen Blätter an der scharfen Spitze einen Büschel weißer Haare tragen. Meine Pflanze stimmt auch in allen anderen Beziehungen mit der Beschreibung und Abbildung überein, die de Smet im Bot. Mag. 1882, Nr. 6610 gegeben hat.

Diese Art wurde bereits 1904 zu einigen Versuchen benutzt (1905, S. 238); neue wurden in gleicher Weise wie bei *albidum*, *Mettenianum* 1905 angestellt.

Tabelle VI.

222 typische archeogene Blüten von *S. Moggridgei*.

Zahl der Blumenblätter	9	10	11	12
Zahl der Blüten .	6	56	<u>133</u>	27
auf 100	2,7	25,2	<u>59,9</u>	12,1

Nach den bisherigen Zählungen sind die Grenzen der Variation hier enger, als bei den früheren Arten.

Grenzen von $n = 9—12$

Hauptzahl $n = 11$ in 60%.

Auch die Zahl der Abweichungen war sehr gering; nur 7 Blüten zeigten kleine Veränderungen in der Zahl der Staub- und Fruchtblätter.

Abweichung = 3%.

Von den neogenen Blüten der betreffenden Individuen wurden relativ wenige gezählt, da die Versuchsexemplare erst spät im August zur Blüte kamen und nur zum Teil untersucht werden konnten.

Die beobachteten wiesen alle die weitgehenden Veränderungen auf, wie die anderen Arten.

Unter 66 neogenen Blüten von 5 Exemplaren fanden sich Abweichungen von der Formel bei 47 Blüten d. h. 71,2%. Unter den 19 normal gebauten Blüten wich die Gliederzahl vom Typus bei 4 Blüten ab.

Gesamtabweichung = 77,2%.

Aus den Zählungen der Blumen-, Staub- und Fruchtblätter ergab sich folgendes:

Grenzen von n für Blumenblätter	1—13
" " " " Karpide	4—17
" " $2n$ " Staubblätter	6—26.

Die Hauptzahlen treten bei der kleinen Anzahl der Blüten wenig hervor, bei den Blumenblättern 9—11, Karpiden 8—11, Staubblättern 9—11.

5. *Sempervivum Reginae-Amaliae* hort.

Nach den früheren Beobachtungen der Systematiker wie nach eigenen gelegentlichen Versuchen zeichnen sich die Arten der Unterart *Jovibarba* (Koch, Synopsis, S. 308) durch eine große Konstanz im Blütenbau aus. Statt der Schwankungen der Gliederzahl findet man die Blüten nach der Formel $K_6 C_6 A_{6+6} G_6$ gebaut. Zu dieser Unterart gehört die in den Gärten als *Reginae-Amaliae* bezeichnete Art, die zur *patens*-Gruppe gehört und nicht identisch ist mit *S. Reginae-Amaliae* Heldr. et Sart. (Regel 1876, S. 66). Ich nahm einige kräftige Exemplare in Kultur. Von archegenen Blüten wurden 136 genauer untersucht.

131 Blüten mit 6 Blumenblättern, 12 Staubblättern, 6 Karpiden							
4	"	"	5	"	10	"	5
1	"	"	7	"	14	"	7

Eine Abweichung in dem Verhältnis der Glieder wurde nicht beobachtet.

Zweifellos lassen sich auch Individuen einer so konstanten Form zu stärkeren Variationen veranlassen. Meine Versuche betreffen nur 2 Individuen, während in anderen Versuchen die Infloreszenzachse abstarb, bevor sie neogene Blüten zu bilden vermochte. Der Grund dafür

liegt darin, daß bei dieser Species die Tochterrosetten mit der Mutterrosette dicht und fest verwachsen sind und daher nach dem Abschneiden der terminalen Infloreszenz dem übrig bleibenden Stumpf die Nahrung entziehen. Bei den beiden Individuen hatte ich die Tochterrosetten entfernt, was aber eine sehr starke Verwundung der Pflanze bedeutete. Die Pflanzen wurden dann in verdünnter Nährlösung kultiviert. Die Zahl der neogenen Blüten war gering; 50 zeigten folgende Gliederzahlen:

Typisch waren

25 Blüten mit 6 Blumenblättern, 12 Staubblättern, 6 Karpiden

6	"	"	5	"	10	"	5	"
1	"	"	7	"	14	"	7	"

Abweichend waren 18 Blüten:

1 Blüte mit 4 Blumenblättern, 4 Staubblättern, ? Karpiden

1	"	"	5	"	0	"	6	"
1	"	"	5	"	4	"	6	"
1	"	"	5	"	10	"	4	"
1	"	"	5	"	11	"	5	"
1	"	"	6	"	10	"	6	"
1	"	"	6	"	5	"	7	"
1	"	"	6	"	5	"	2	"
1	"	"	6	"	2	"	6	"
6	"	"	6	"	0	"	6	"
1	"	"	6	"	?	"	?	"
2	"	"	7	"	0	"	7	"

Die Abweichungen betragen demgemäß 36 %.

Das ? bedeutet eine sehr starke Verkümmernng der Organe: Am auffälligsten war das Fehlen eines oder beider Staubblattkreise in mehreren Blüten.

Neben den besprochenen 5 Arten wurden einzelne Exemplare anderer Arten dem Versuch unterworfen; sie gehörten sämtlich der Untergattung *Eusempervivum* an und waren im Garten bezeichnet als:

<i>rubicundum</i>		<i>acuminatum</i>
<i>tomentosum</i>		<i>console</i>
<i>alpinum</i> (?)		<i>hirtum hort.</i> (nicht <i>hirtum</i> Lin.).

Die untersuchten Individuen zeigten namentlich in den neogenen Blüten mehr oder minder die starken Veränderungen wie bei den anderen Arten.

II. Die verschiedenen Umbildungen der einzelnen Blütenorgane.

Die wesentlichen Organe der Blüte von *Sempervivum* können in den neogenen Blüten in weitgehendstem Maße Umgestaltungen erfahren. Ich will die einzelnen Organe nach einander besprechen.

1. Veränderungen der Kelchblätter.

Die teratologische Literatur hat mancherlei Umbildungen der Kelchblätter kennen gelehrt, z. B. eine solche in Laubblätter oder in Blumenblätter. Die letztere Form kann bei manchen Gartenrassen als erblicher Charakter auftreten, oder sie zeigt sich mehr gelegentlich z. B. bei *Trollius* (Goebel 1886, S. 270), *Mimulus luteus* (Hildebrand 1886, S. 623). Für *Sempervivum* sind solche Veränderungen bisher nicht bekannt. In meinen Versuchen zeigten sich die Umgestaltungen in 3 Richtungen als a) allgemeine Formveränderung, b) Umwandlung in Rosettenblätter, c) Umwandlung in Blumenblätter.

a) Änderungen der Form.

Bei typischen Blüten bildet der Kelch den äußersten Kreis; er besteht aus grünen dicklichen etwas zugespitzten Blättern, die durch den gemeinsamen Blütenboden, von dem sie ausgehen, verbunden sind. Dieser Blütenboden, ca. 2—3 mm dick, entsteht durch die Erweiterung des Blütenstiels, dessen Gefäßbündel zu einem zentralständigen Ring vereinigt sind. Im Blütenboden erfolgt ein lebhaftes Auseinanderstrahlen der sich verzweigenden Bündel, die dann in die einzelnen Blütenorgane hinaufsteigen (Fig. 3, V).

Bei den neogenen Blüten geht die regelmässig zyklische Anordnung der Kelchblätter nicht selten in eine unregelmässig schraubige über, indem einzelne Blätter höher oder tiefer inseriert sind, und benachbarte sich mehr oder minder decken. Noch häufiger ist die

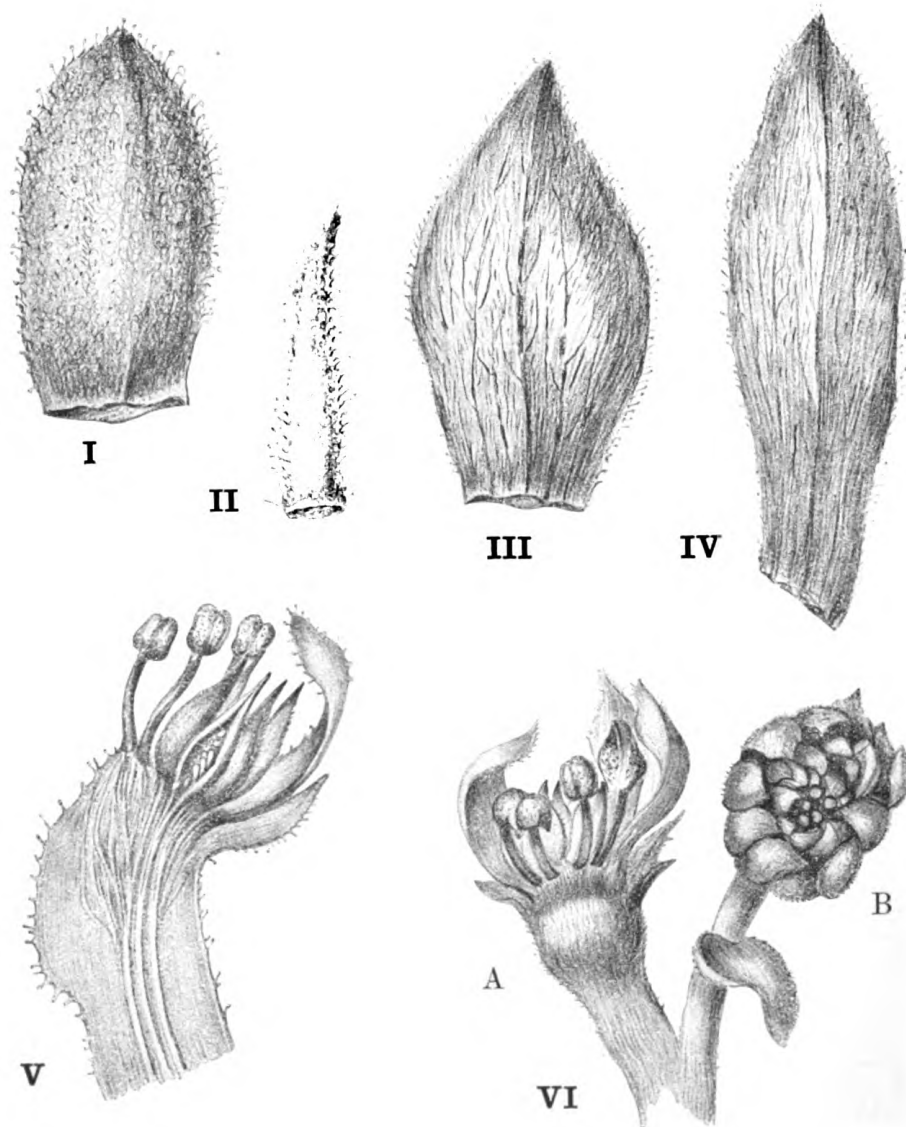


Fig. 3 *Sempervivum Mettenianum*.

I—IV Kelchblätter der gleichen Blüte, I normal, II nadelförmig, III verbreitert, dünner mit deutlicherer Nervatur, IV blumenblattartig dünn, rot gefärbt. V. Zweiglein mit 2 anormalen Blüten. A. an der vorderen Seite ohne Kelch- und Blumenblätter, Blütenboden verdickt. B. Blüte zu einer Art Rosette umgewandelt, im Centrum Anlagen von Staubblättern und Karpiden. VI. Längsschnitt durch eine ähnliche Blüte wie V A. Blütenboden verdickt, eingekrümmt, an einer Seite ohne Kelch- und Blumenblätter. Vergröss. von I—IV 7,5 mal, von V und VI 4 mal.

Ungleichheit der einzelnen Kelchblätter der gleichen Blüte. Neben auffallend breiten wahrscheinlich durch Verwachsung entstandenen Blättern beobachtet man kleine schmalkeulige Formen (s. Fig.¹⁾ 3, II).

Ein völliges Verschwinden des Kelches wurde bisher nicht festgestellt, wohl aber bei Blüten von *Mettenianum* eine starke Reduktion. Diese war dabei bisweilen verbunden mit einer Umgestaltung des Blütenbodens. Er schwoll stärker an und erschien dick kolbig; an einem Teil seines oberen Randes waren dann die Kelchblätter verschwunden, während sie an einer anderen Stelle noch als kleine Blättchen vorhanden waren; man vgl. die Blüten bei Fig. 3, V und VIA wo an der kelchfreien Stelle auch die Blumenblätter fehlten. An ähnlichen stark veränderten Blüten krümmte sich der dicke Blütenboden an einer Seite deutlich ein. In der Blüte Fig. V fehlten die Kelch- und Blumenblätter am konvexen Rande, in anderen Fällen gerade an der eingekrümmten Stelle. Solche starken Anschwellungen des Blütenbodens oder des Blütenstieles, andererseits eine bandartige Verdünnung beider konnte auch ohne auffallende Reduktion der Kelchblätter erfolgen.

Die Schwankungen in der Zahl der Kelchblätter wurden, wie früher erwähnt, nicht ausführlich verfolgt. Indessen gilt für sie das gleiche wie für die Blumenblätter u. s. w. Nur als Beispiel führe ich ein Exemplar von *Mettenianum* an, von dem 50 Blüten mit Berücksichtigung des Kelches untersucht wurden. Die Zahl der Kelchblätter schwankte zwischen 5 und 15; die Hauptzahl war $n = 7$. In 14 Blüten war die Zahl der Kelchblätter gleich der der Kronenblätter, nur in 2 auch gleich der Karpidenzahl. In allen anderen Blüten waren die Gliederzahlen dieser Wirtel verschieden.

b) Umwandlung in Blumenblätter.

Unter den neogenen Blüten von *Funkii* und *Moggridgei* war die Petalodie der Kelchblätter eine sehr vereinzelte Erscheinung. Etwas häufiger trat eine solche Umwandlung bei *Mettenianum* hervor; bei einem Exemplar zeigte sie sich bei 7 Blüten unter 58. Die Umbildung betraf 1 oder 2 Kelchblätter, wenn auch in einem Falle 10 petaloide

¹⁾ Die Zeichnungen für die Figuren im Texte selbst, wie auf den Tafeln sind von meiner Frau ausgeführt worden. Alle Figuren sind nach dem Spitzertypie-Verfahren hergestellt worden.

Sepala neben 5 grünen ausgebildet waren. Die Kelchblätter (Fig. 3, I, III, IV), die einer Blüte entstammen, geben ein deutliches Bild von dem verschiedenen Grade der Umbildung. Die Kelchblätter verbreitern oder verlängern sich und verdünnen sich dabei, so daß die Nervatur immer deutlicher wird; die lebhaft rote Farbe erscheint zuerst auf der Innenseite, dann auch auf der Außenseite. Ein Blatt,



Fig. 4.

Sempervivum Mettenianum.
(8 mal vergrößert.)

Ein Kelchblatt das auf der linken Seite blumenblattartig dünn und rot gefärbt erschien; die rechte war typisch kelchartig.

das zur Hälfte ein grünes Kelchblatt, zur anderen ein rotes Blumenblatt darstellt, ist in Fig. 4 abgebildet. In solchen Fällen kann man von einer Metamorphose im üblichen Sinne sprechen, weil die petaloiden Gebilde in dem äußersten Kreis der Blüte saßen und seitlich mit typischen Kelchblättern verbunden waren. Aber es traten auch Schwierigkeiten der Beurteilung ein. Die Blumenblätter nahmen bei manchen Blüten von *Mettenianum* Kelchcharakter an, indem ihre Außenseite grün gefärbt wurde, ihre Dicke zunahm. Dann konnten sich damit Stellungsveränderungen verbinden, die kelchartigen Blumenblätter standen opponiert dem zugehörigen Kelchblatt statt in Alternation, oder einzelne Blumenblätter rückten tief in

den Kelchkreis hinein, durch seitliches Abstehen hervorragend. Die Deutung solcher Verhältnisse bleibt immer etwas unsicher.

c) Umwandlung in Rosettenblätter.

Die Entstehung von Rosetten und auch von Übergangsformen zwischen Rosetten und Blüten ist für *S. Funkii* früher von mir beschrieben worden. Beide Gebilde traten sowohl in den terminalen wie den späteren lateralen Infloreszenzen auf. In den Versuchen von 1905 beobachtete ich besonders bei *S. Mettenianum* Rosetten, die an Stelle von Blüten an den seitlichen Infloreszenzen gebildet waren.

Unter den 10 Versuchsexemplaren zeigte sich bei 6 die Rosettenbildung. Die kleinen Rosetten saßen an dem Ende eines Stieles, an dem ein laubblattartiges Vorblatt deutlich war, während dieses bei den Blütenstielen sehr klein war und manchmal fehlte. Auffallend war es, daß solche Rosetten von einem basalen Aufsenkelch umgeben schienen, indem unterhalb von ihnen 2 oder 3 horizontal abstehende, rot gefärbte Blättchen saßen.

Neben typischen Rosetten fanden sich verschiedenartige Übergangsformen zu Blüten. In der Rosette (Fig. 3 VI B) waren von den äußeren, dem Kelch entsprechenden Blättern noch 10 fast zyklisch angeordnet, die andern waren nach innen getreten; die Form war bereits etwas laubblattartig. Die Blumenblätter hatten ebenfalls eine gewisse vegetative Umbildung erfahren, sie waren grünlichweiß, dicklich und deckten sich zum Teil sehr deutlich. Im Innern fanden sich kurzgestielte gelbgrüne Antheren und kaum entwickelte Karpidanlagen. In anderen ähnlichen Bildungen waren von Staub- und Fruchtblättern nur schwache Spuren zu sehen, es fanden sich mehrere deutlich sich deckende Reihen von rosettenartigen Blättchen, an denen Kelch- und Blumenblätter kaum zu unterscheiden waren. Die bei *Funkii* beobachteten Zwischenformen mit rosettenartigem Kelch und deutlichen Blumenblättern kamen bei *Mettenianum* nicht vor.

2. Veränderungen der Blumenblätter.

Änderungen in der Zahl, Stellung, Form und Farbe der Blumenblätter sind für *S. Funkii* von mir früher beschrieben worden. In den Versuchen von 1905 haben sich für alle untersuchten Arten solche Änderungen in großer Mannigfaltigkeit ergeben. Auf einige früher wenig berührte Verhältnisse möchte ich hier noch eingehen.

a) Verminderung der Blumenblätter; *Apetalie*.

Im Verhältnis zu den Staub- und Fruchtblättern kann die Zahl der Blumenblätter vermindert sein. Man wird dann davon sprechen, wenn die Zahl der beiden anderen Organe $2n$ Staubblätter, n -Karpide höher ist als die Zahl der Blumenblätter. Ich gebe aus den Zählungen (1905) von *Funkii* einige Beispiele.

Tabelle VII.

Verminderung der Blumenblätter im Verhältnis zu Staub- und Fruchtblättern bei *S. Funkii*.

Zahl der Blüten	Blumenblätter	Staubblätter	Karpide	Zahl der Blüten	Blumenblätter	Staubblätter	Karpide
2	6	14	8	9	9	19	10
1	6	13	7	2	9	19	11
2	7	16	8	2	9	19	13
1	7	16	10	2	9	20	10
2	7	17	8	3	9	20	11
3	7	17	9	1	9	21	11
4	8	17	9	1	9	22	11
2	8	18	10	1	9	22	13
1	8	18	12	2	10	21	11
2	8	19	9	1	10	22	11
2	8	19	11	1	10	24	18
1	8	19	14	1	11	24	13
2	8	20	10	1	12	25	15
1	8	22	12				
1	8	24	12				

In solchen Blüten, die im übrigen keine besonderen Veränderungen darboten, waren die Stellungsverhältnisse gestört. Die Blumenblätter fehlten in der Zahl von 1—6. Unzweifelhaft beruhte in einigen Fällen die Verminderung auf einer Verwachsung zweier Blumenblätter. Denn einzelne Blumenblätter fielen durch ihre Größe auf und standen zum Teil einem Kelchblatt opponiert; oder die Verwachsung war nicht vollständig, und das breite Blumenblatt war 2spitzig oder 2lappig. Auch bei *Mettenianum* begegnete man mehrfach solchen breiten 2- oder sogar 3lappigen Blumenblättern.

Das Fehlen von Blumenblättern war in stärker veränderten Blüten viel auffallender, weil deutliche Lücken in ihrem Kreise bemerkbar wurden; an solchen Stellen folgten auf die Kelchblätter direkt die Staubblätter, wenn diese nicht selbst von der Reduktion betroffen waren. Andererseits konnten an solchen Stellen sowohl Kelch- wie Blumenblätter ausgeblieben sein (s. S. 25).

Die interessanteste Erscheinung zeigte sich bei *Mettenianum* in der Verminderung der Blumenblätter bis zur völligen Apetalie. In den Versuchen von 1903—04 beobachtete ich die Apetalie bei einem Individuum von *S. alpinum* (1905, S. 239). In den Versuchen von 1905 trat das Verhalten in deutlichem Grade bei *Mettenianum* hervor.

Unter den 10 Versuchsexemplaren waren bei 8 die apetalen Blüten zu beobachten; neben ganz apetalen gab es solche mit einigen wenigen Blumenblättern, die größtenteils petaloiden Staubblättern entstammten. Die folgende Tabelle gibt Aufschluss über das Vorkommen solcher Blüten.

Tabelle VIII.

Völlig oder beinahe apetale Blüten bei *S. Mettenianum*.

Exemplar	Zahl der neogenen Blüten	A völlig apetale Blüten	B beinahe apetale Blüten	Zahl der Blumenblätter bei B.
I	45	11	3	1 bei 2 Blüten; 3 bei 1.
II	86	8	8	2 bei 5 Blüten; 3 bei 1; 4 bei 2.
III	21	2	1	2 bei 1 Blüte.
IV	54	7	5	1 bei 2 Blüten; 2 bei 1; 3 bei 2.
V	77	6	1	2 bei 1 Blüte.
VI	58	1	1	4 bei 1 Blüte.
VII	39	6	2	1 bei 1 Blüte; 3 bei 1.
VIII	59	5	2	1 bei 1 Blüte; 4 bei 1.
	439	46	23	
		69		

Unter der Gesamtheit von 500 neogenen Blüten der 10 Exemplare fanden sich 69 apetale Blüten, also etwa 14 %.

Der Bau solcher apetalen Blüten wird am besten hervorgehen, wenn ich an einem Beispiel ihre Bauverhältnisse genauer angebe; ich nehme dafür das Exemplar I. (Tabelle IX.)

Wenn man absieht von den Veränderungen der Karpide, die ähnlich auch bei anderen veränderten Blüten auftreten, so zeichnen

sich die apetalen des näher beschriebenen Exemplars wie auch der übrigen Individuen durch eine auffallende Eigentümlichkeit aus.

Tabelle IX.

Apetale Blüten bei einem Exemplar von *S. Mettenianum*.

Nummer der Blüte	Zahl der			Bemerkungen
	Kelch- blätter	Staub- blätter	Karpide	
1	12	12	7	
2	11	11	11	4 Staubblätter petaloid; 2 Karpid-Antheren.
3	18	25	18	dazu 1 Blumenblatt; 1 bewimperter Faden; 4 Staubblätter sepaloide; 2 Karpid- Antheren.
4	13	15	10	2 bewimperte Fäden.
5	14	2	10	dazu 3 Blumenblätter (petaloide Staub- blätter?); 2 Fäden; 1 petaloides Staub- blatt; 2 Karpid-Antheren.
6	12	12	10	1 Staubblatt petaloid; 3 Karpid-Antheren.
7	12	12	12	dazu 1 Blumenblatt; 4 petaloide Staub- blätter; 1 Staubblatt mit Samenknospe.
8	12	10	10	
9	13	13	10	
10	12	9	9	1 Karpid-Anthere.
11	11	11	9	2 Staubblätter petaloid.
12	17	5	14	2 Staubblätter mit Samenknospen; 2 Karpid- Antheren.
13	12	14	9	3 Staubblätter petaloid; 1 Karpid-Anthere.
14	12	10	10	2 Staubblätter petaloid.

Bei den meisten apetalen Blüten ist außer den Blumenblättern auch der epipetale Staubblattkreis ausgefallen (vgl. die beiden Diagramme Fig. 5, III und IV). Allerdings nur in seltenen Fällen ist die Zahl der vorhandenen Kelch-, Staub- und Fruchtblätter ganz übereinstimmend, z. B. $n = 11$ oder 12 ; es finden sich kleine Differenzen zwischen den 3 Gliedern, wie bei den meisten neogenen Blüten. Dann können auch einige der epipetalen Staubblätter erhalten sein, oder die Reduktion ergreift sogar den episepalen Kreis, und

aufserdem finden sich daneben kleine Stellungsveränderungen der Staubblätter, z. B. 2 Staubblätter gegenüber 1 Kelchblatt, andererseits Lücken im Staubblattkreis.

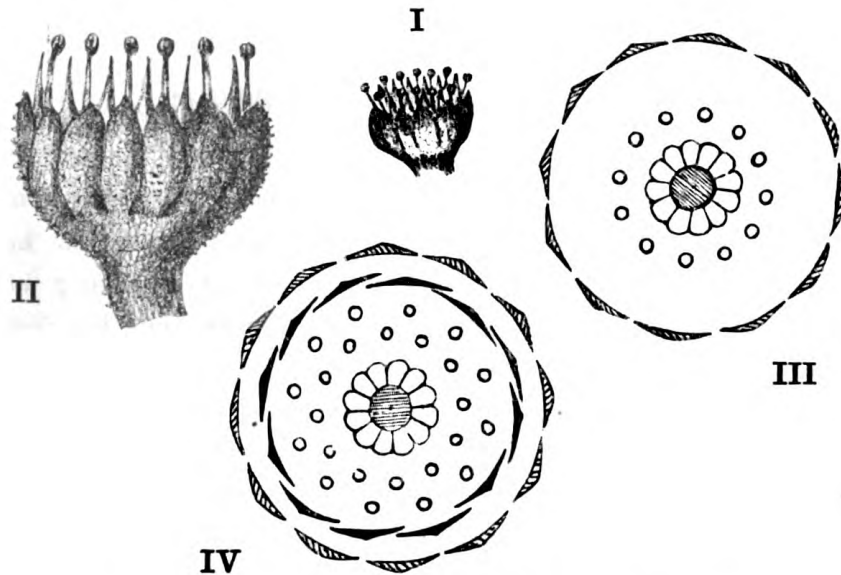


Fig. 5. Apetalie bei *Sempervivum Mettenianum*.

I Apetale Blüte natürlicher Größe. — II Apetale Blüte 3 mal vergrößert; nur aus Kelch, dem episepalen Staubblattkreis und dem Karpidenkranz bestehend. — III Diagramm einer solchen Blüte. — IV Diagramm einer normalen Blüte.

Ein anderer häufiger Charakter der apetalen Blüten zeigte sich in dem Auftreten der Petalodie der vorhandenen Staubblätter, also der episepalen; unter den 69 Blüten boten 39 diese Erscheinung in sehr verschiedenem Grade dar. Bei einigen Blüten zeigte sich sogar eine Sepalodie der Staubblätter. In jenen Fällen, wo die Petalodie eine vollständige war, liefs sich aus der den Kelchblättern opponierten Stellung auf die Metamorphose schliessen. Im übrigen waren in den apetalen Blüten Karpide wie Staubblätter geschlechtsreif; durch künstliche Befruchtung erhielt ich reife keimfähige Samen. Schwieriger ist die Entscheidung der Frage, was die in manchen apetalen Blüten vorhandenen, bewimperten Fäden bedeuten. Diese waren bei einigen Blüten rot, meist aber grün gefärbt; sie standen zum Teil mit den Kelch-

blättern abwechselnd und konnten dann ebensogut als reduzierte Blumenblätter wie als epipetale Staubblätter aufgefaßt werden. In anderen Blüten standen sie aber den Kelchblättern gegenüber und sie müßten dann, wenn man nicht Stellungs-Anomalien annehmen wollte, als veränderte episevale Staubblätter angesehen werden.

b) Vermehrung der Blumenblätter.

Eine Vermehrung der Blumenblätter kann, wie Goebel (1886, S. 268) auseinandersetzt, auf verschiedene Weise zustande kommen. Neben der häufigen petaloiden Umbildung der Staubblätter kommt eine Neubildung von Blumenblattanlagen, ferner eine Spaltung solcher Anlagen vor. Die petaloide Umbildung fällt hier zunächst fort, da nur diejenigen Fälle berücksichtigt werden sollen, in denen die Zahl der Blumenblätter in dem zweiten Blattkreis der Blüte verändert ist. Diese Zahl schwankt bei vielen *Sempervivum*-Arten, steht aber, wie wir wissen, bei typischen Blüten in engem Zusammenhang mit der Zahl der Staub- und Fruchtblätter. Von einer Vermehrung der Blumenblätter wird man dann sprechen können, wenn ihre Zahl sowohl zu der der Staubblätter wie zu der der Fruchtblätter gesteigert erscheint. Für *S. Funkii* habe ich nur relativ wenige Fälle dieser Art (12 Blüten) beobachtet, bei *Mettenianum*, unter 500 etwa 30. Ich führe für diese Species die Fälle in Tabelle X an.

Bei einigen solcher Blüten liefs sich mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Vermehrung durch Spaltung der ursprünglichen Anlage annehmen. In den ganz regelmässigen Blüten fanden sich zwischen 2 Kelchblättern an Stelle eines Blumenblattes 2, die dann infolge des zu engen Raumes nach aufsen hervorstanden. In anderen Fällen könnte eine Vermehrung der Blumenblattanlagen stattgefunden haben, ohne die sonst in Verbindung stehenden epipetalen Staubblätter. Eine lebhaftere Neubildung, z. B. die Einschubung eines zweiten Blumenblattkreises, wie bei manchen Gartenrassen, z. B. von *Campanula* (Goebel 1886, S. 251), liefs sich bisher nicht nachweisen. Wo eine solche Vermehrung eintrat, hatte in der Mehrzahl der Fälle, wahrscheinlich in allen, eine Petalodie der Staubblätter stattgefunden.

Tabelle X.

Vermehrung der Blumenblätter im Verhältnis zu Staub- und Fruchtblättern bei *S. Mettenianum*.

Zahl der Blüten	Blumenblätter	Staubblätter	Karpide	Zahl der Blüten	Blumenblätter	Staubblätter	Karpide
2	8	14	7	1	10	15	9
1	8	15	7	1	10	16	8
1	9	12	8	2	10	18	8
1	9	13	7	1	10	18	9
1	9	14	8	2	10	19	9
1	9	15	7	1	11	20	9
1	9	16	8	1	11	14	7
5	9	17	8	2	11	20	10
1	9	16	7	1	14	27	16
1	10	14	8	1	15	24	12
1	10	15	8	1	16	30	15

3. Die Veränderungen der Staubblätter.

Die vom Typus abweichenden Gestaltungen der Staubblätter sind besonders mannigfaltig. Als Organe mittlerer Stellung sind ihre Anlagen verändernden Einflüssen sowohl von der Peripherie als auch vom Zentrum der Blüte ausgesetzt. Die wesentlichsten Punkte werden nacheinander besprochen.

a) Vermehrung der Staubblätter.

Die Vermehrung läßt sich, wie bei den Blumenblättern, nur durch den Vergleich mit der Zahl der anderen Organe feststellen. Ich gebe für *Funkii* und *Mettenianum* die betreffend. Zahlen in Tabelle XI.

In diesen im ganzen regelmäßigen Blüten kann die Vermehrung der Staubblätter im Vergleich zu der Zahl der Blumenblätter 1—6 betragen, im Vergleich zu der der Karpide 1—12. Daraus ergeben sich vom Typus sehr abweichende Stellungsverhältnisse. Wenn auch nicht bei jeder Blüte genau die Stellung jedes Staubblattes festgestellt wurde, so liefs sich doch sicher beobachten, dafs eine Vermehrung

sowohl der epipetalen wie episepalen Staubblätter stattfinden kann. Häufiger allerdings schienen die ersteren vermehrt zu sein, man sah dann 2 Staubblätter nebeneinander an einem Blumenblatt; doch ist nicht sicher zu sagen, ob hier eine Spaltung oder eine Neubildung vorliegt, da auch die Entwicklungsgeschichte nicht verfolgt wurde.

Tabelle XI.

Vermehrung der Staubblätter im Verhältnis zu Blumen- und Fruchtblättern.

Zahl der Blüten	<i>S. Funkii</i>			Zahl der Blüten	<i>S. Mettenianum</i>		
	Blumenblätter	Staubblätter	Karpide		Blumenblätter	Staubblätter	Karpide
1	6	16	7	1	7	15	7
2	7	17	7	1	8	21	10
1	7	15	7	3	10	21	10
3	8	17	8	1	10	21	9
2	8	19	9	1	10	23	9
2	9	19	8	1	10	22	6
1	10	24	10	1	10	26	12
1	10	24	11	1	11	23	11
1	11	23	11	1	11	25	12
2	11	24	11	1	12	25	12
1	12	25	12	1	12	27	13
1	12	28	8	1	13	29	13
				1	13	32	15

b) Verminderung der Staubblätter.

Die Verminderung im Vergleich zu der Zahl der Blumen- und Fruchtblätter ist eine sehr häufige Erscheinung, die bei *Funkii* in den Versuchen von 1903—04 (l. c. S. 279), wie 1905, ebenso bei den anderen Arten 1905, hervortrat; alle nur denkbaren Grade bis zum völligen Verschwinden boten sich dar. Die wichtigste Form des Ausfalles haben wir bei den apetalen Blüten von *Mettenianum* kennen gelernt, in denen der epipetale Kreis davon betroffen wurde. Unter den 50 neogenen Blüten der beiden Exemplare von *S. Reginae-Amaliae* waren

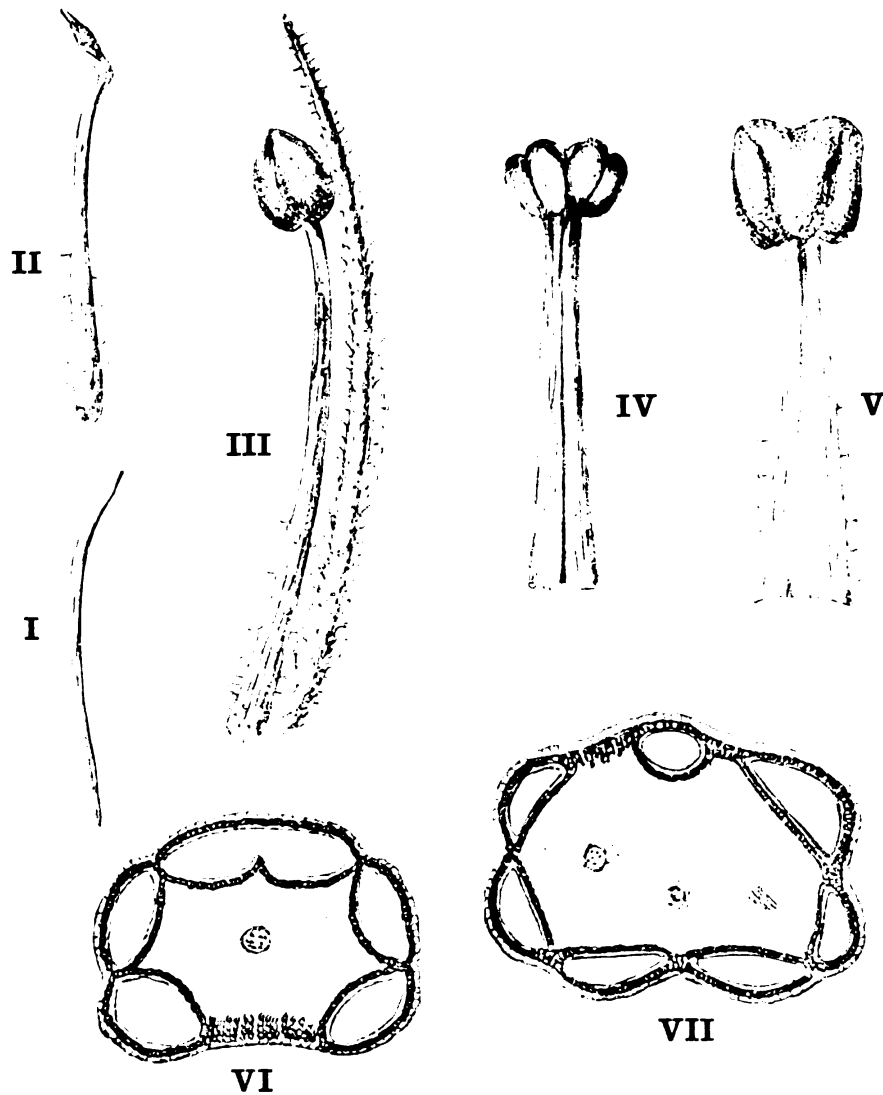


Fig. 6 Staminodien; verwachsene Staubblätter.

I. *S. Funkii* Staminodium. II. *S. Mettenianum* Staminodium rot mit weissem Schnäbelchen an Stelle der Anthere. III. *S. Mettenianum* normales Staubblatt und ein roter bewimperter Faden. IV. *S. Mettenianum* 2 Staubblätter verwachsen. V. *S. Funkii*, ebenso. VI—VII Querschnitte durch verwachsene Antheren. Zahl der Pollensäcke 5 und 7; die fibrösen Zellen durch Querstrichelung bezeichnet. I V 8 mal vergrössert VI—VII 26 mal.

bei 10 sogar beide Staubblattkreise entweder völlig verschwunden (in 6 Blüten), oder bis auf ganz kleine Anlagen reduziert (in 4 Blüten), während Blumen- und Fruchtblätter normal ausgebildet waren. In 4 Blüten war nur der eine Staubblattkreis ausgefallen.

Blüten mit völlig fehlenden oder auf kleine Höcker reduzierten Staubblättern fanden sich unter den neogenen Blüten von *Funkii* in der Zahl von 15 (3,2%), bei *Mettenianum* in der Zahl von 6 (1,2%).

c) Reduktion einzelner Teile; Staminodien.

Als Staminodien bezeichnet man Staubblätter mit nicht ausgebildeter Anthere; sie treten als normale Organe in den Blüten mancher Pflanzen (z. B. den Scrophularineen u. s. w.) auf. Bei den *Sempervivum*-Arten kommen sie als Anomalien in den neogenen Blüten vor, meist in der Ein- oder Zweizahl. Es sind rot gefärbte, etwas flach gedrückte und fast glatte Filamente, die an Stelle der Anthere ein häufig kaum gefärbtes, löffelförmiges oder schnabelartiges Ende besitzen (Fig. 6, I. II). Unter 468 neogenen Blüten von *Funkii* habe ich 60 d. h. 13% mit solchen Staminodien (50 Blüten mit 1 Stam. 10 mit 2) beobachtet. Die Reduktion der Anthere braucht nicht so weit zu gehen. In stark veränderten Blüten von *Funkii* und *Mettenianum* zeigt oft die Mehrzahl der Staubblätter rote herzförmige (vgl. Fig. 3, VA) oder keulenförmige, nicht zu voller Ausbildung gelangte Antheren.

Von den Staminodien zu unterscheiden sind cylindrische, stark mit Drüsenhaaren besetzte Fäden (Fig. 6, III), die einzeln oder zu mehreren in einer Blüte vorkommen. Ich habe sie bereits bei Gelegenheit der apetalen Blüten erwähnt; auch in Blüten mit Blumenblättern bei *Funkii*, *Mettenianum* u. a. Arten ließen sie sich beobachten. Sie erscheinen manchmal nach der Stellung als metamorphosierte Staubblätter, in anderen Fällen als metamorphosierte Blumenblätter.

Die Reduktion kann bei den Staubblättern in erster Linie nur das Filament betreffen. Es finden sich anscheinend normale, sitzende Antheren in der Blüte. Bei den Versuchen von 1905 sah ich solche besonders bei Exemplaren von *Funkii*, die auf 0,5 und 1% Kochsalzlösung kultiviert waren; aber sie kamen gelegentlich auch in anderen Versuchen vor. Die Reduktion von Filament und Anthere führt schliesslich

zu ganz verkümmerten Gebilden, wie sie sich in stark veränderten Blüten finden.

d) Verwachsung von Staubblättern.

Eine Verwachsung zweier Staubblätter läßt sich bei wenig veränderten Blüten mit Sicherheit voraussetzen, wenn an Stelle von 2 ein einziges tritt, das zugleich durch Breite des Filamentes und grössere Anthere auffällt. In stark veränderten Blüten ist die Sache weniger sicher, wenn auch oft wahrscheinlich. Nur gewisse Stadien, wie 2 an der Basis oder bis zur Mitte der Filamente verwachsene Staubblätter könnten eventuell als ein Beweis für eine unvollständige Spaltung einer einzigen Anlage aufgefaßt werden. Solche Spaltungen sind bei einzelnen Pflanzen bekannt (Goebel 1886, S. 298).

In den Versuchen mit *Funkii* 1903—04 trat eine Verwachsung bei der Mehrzahl der Versuchsexemplare auf, aber nur in einzelnen Blüten; unter 287 Blüten bei 16 d. h. 5,5%. Nach den Beobachtungen von 1905 fanden sich unter 468 Blüten 21 mit Verwachsungen d. h. 4,4%. Bei *Mettenianum* hatten unter 500 Blüten 21 d. h. 4,2% die gleichen Bildungen. Eine Steigerung der Anomalie gegenüber den früheren Versuchen war nicht erfolgt.

In den Fällen, wo die beiden Antheren noch deutlich getrennt sind (Fig. 6, V), sind auch die Antherenfächer vollständig ausgebildet. Dagegen bei völliger Verwachsung erfolgt eine gewisse Reduktion der Antherenfächer. An Stelle der zu erwartenden 8 Fächer beobachtet man nur 7 (Fig. 6, VII) oder 6, oder nur 5 und die Andeutung eines 6ten in Form fibröser Zellen (Fig. 6, VI). Bei *Mettenianum* sah ich allerdings auch Antheren mit 9 Fächern; aber hier lag wahrscheinlich eine Verwachsung von 3 Staubblättern zu Grunde.

e) Umwandlung in Blumenblätter (Petalodie).

Die Umwandlung von Staubblättern in Blumenblätter ist die bekannteste und am weitesten verbreitete Metamorphose von Blütenorganen. Sie tritt auch bei Pflanzen der freien Natur auf, z. B. bei einigen Ranunculaceen (Goebel 1886, S. 217), bei *Cardamine pratensis* (Hildebrand 1886, S. 639; schon früher Beifsnor 1881, S. 51). Vor allem aber ist sie ein Charakter zahlreicher Gartenrassen mit gefüllten

Blumen. Unter den hierher gehörigen Arbeiten ist in erster Linie die von Goebel (1886) hervorzuheben, der auf Grund eingehender entwicklungsgeschichtlicher Untersuchungen die verschiedenen Formen der Füllung und besonders die Petalodie der Staubblätter behandelt hat. Daneben sind die Arbeiten Hildebrands (1886) und Delpinos (1887) als wichtige Ergänzungen heranzuziehen. In zahlreichen teratologischen Arbeiten wird diese Erscheinung beschrieben, bald mehr gelegentlich, bald in Einzelfällen genauer untersucht, wie z. B. bei *Philadelphus* von L. Celakovsky (1898), bei *Platycodon* von Heinricher (1883) u. s. w.

Bei den *Sempervivum*-Arten, überhaupt den *Crassulaceen*, ist die Petalodie der Staubblätter bisher nicht beobachtet worden; es gibt auch keine gefüllt blühenden Rassen. Die bei *Sempervivum* hervorgerufene Art der Petalodie bietet prinzipiell nichts Neues. Indessen erscheint es mir doch notwendig, die wesentlichsten Vorgänge darzustellen, da kein Zweifel darüber herrschen kann, daß es sich hier um eine individuelle Variation handelt; solche Fälle sind bisher nur als Folgen von Parasitismus beobachtet worden.

Das älteste Beispiel dieser Art wird von de Bary (1884, S. 395) erwähnt, der bei Blüten von *Knautia arvensis* eine Petalodie der Staubblätter nach Infektion durch *Peronospora violacea* beobachtete. Der gleiche Vorgang zeigte sich nach Giard bei Blüten von *Saponaria officinalis*, die durch *Ustilago antherarum*, nach Molliard bei Blüten von *Viola silvestris*, die durch *Puccinia Violae* befallen waren (vgl. Molliards ausführliche Arbeit 1885). Ebenso können parasitische Tiere eine Petalodie der Staubblätter hervorrufen; nach künstlicher Infektion durch *Phytoptus* gelang es Peyritsch (1888), diese Umwandlung neben anderen Veränderungen zu erhalten. Sogar die Infektion von Wurzeln durch *Heterodera*-Gallen soll nach Molliard (1902, S. 548) die Füllung der Blüten von *Scabiosa columbaria* bewirken; eine normale Pflanze, die in die gleiche Erde versetzt und dabei infiziert wurde, bildete gleichfalls gefüllte Blüten.

a) Verteilung der Petalodie.

In den Versuchen mit *Funkii* 1903—04 trat die Petalodie unter 287 Blüten bei 14 Blüten d. h. 5% auf. Allerdings ist die Zahl etwas

zu klein, weil ich, um ganz sicher zu sein, nur solche Blüten gerechnet habe, in denen die petaloiden Staubblätter noch Antherenreste trugen. Es gab auch Blüten mit überzähligen Blumenblättern, die sehr wahrscheinlich durch Petalodie entstanden waren.

Bei der Untersuchung von 1905 erwiesen sich die Blüten mit Petalodie reichlicher vertreten. Unter 468 neogenen Blüten von *Funkii* fanden sich 70 mit unzweifelhafter Petalodie; dazu kamen 17, in denen die große Zahl der Blumenblätter im Verhältnis zu den Zahlen der Staub- und Fruchtblätter, die Bildung eines zweiten oder sogar dritten Blattkreises, die den Kelchblättern zum Teil opponierte Stellung, alles dieses auf Petalodie der Staubblätter hinwies. In der Tabelle XII gebe ich die genauere Beschreibung der 17 Blüten.

Tabelle XII.

Bau der 17 mehr oder weniger gefüllten Blüten von *S. Funkii*;
Petalodie der Staubblätter ohne Antherenreste.

Nummer der Blüte	Zahl der Blumenblätter	Stellung der Blumenblätter	Zahl der Staubblätter	Zahl der Karpide
1	10	ganze Blüte füllend	0	2
2	11	2 Blumenblätter im inneren Kreis	14	8
3	12	2 " " " "	14	8
4	12	2 " " " "	14	8
5	13	ganze Blüte füllend	0	2
6	13	3 Blumenblätter im inneren Kreis	19	10
7	14	4 " " " "	16	11
8	14	4 " " " "	20	16
9	14	4 " " " "	16	11
10	15	ganze Blüte füllend	5	?
11	15	" " "	?	?
12	16	6 Blumenblätter im inneren Kreis	17	20
13	16	6 " " " "	0	9
14	17	ganze Blüte füllend	?	?
15	18	8 Blumenblätter im inneren Kreis	20	14
16	18	6 " " " "	18	18
17	21	6—8 Blumenblätter in 1- 2 inneren Kreisen	22	10

In der überwiegenden Mehrzahl dieser 17 Blüten war die Zahl der Staubblätter reduziert, ein Teil der Blumenblätter stammte aus ihrer Anlage. Es gab gefüllte Blüten, bei denen auch die Karpide neben den Staubblättern in hohem Grade ausgefallen oder verkümmert waren.

Rechnet man diese 17 Blüten zu den 70 mit unzweifelhafter Petalodie, so hat man unter 468 Blüten 87 mit Petalodie, d. h. 18,6%, eine Steigerung der Anomalie gegenüber 1903/04 um 13,6%.

Bei den neogenen Blüten von *Mettenianum* war die Petalodie noch häufiger als bei *Funkii*. Unter den 500 gab es 123 mit unzweifelhafter Petalodie, 4 mit sehr wahrscheinlicher, im Ganzen 127; also

die Petalodie bei 25,4%.

Bei *S. albidum* fanden sich unter 276 neogenen Blüten 42 mit Petalodie (stets mit Antherenresten):

die Petalodie bei 15,2%.

Bei *Moggridgei* fanden sich unter 66 Blüten 13 mit sicher petaloiden Staubblättern:

die Petalodie bei 19,7%.

An den folgenden nur in einzelnen Exemplaren untersuchten Arten beobachtete ich neogene Blüten mit petaloiden Staubblättern.

S. tomentosum
S. boutignanum
S. alpinum (?)
S. acuminatum
S. rubicundum.

Unter den 50 Blüten von *S. Reginae-Amaliae* (Untergattung *Jovibarba*) sah ich keinen Fall der Petalodie; aber bei weiteren Untersuchungen wird wohl auch hier die Anomalie hervorzurufen sein.

Abgesehen von den Blüten mit relativ starker Füllung (siehe Tabelle XII), zeigte sich die Verteilung petaloider Staubblätter, d. h. solcher, die noch Antherenreste trugen, innerhalb der einzelnen Blüte in folgender Weise.

S. Funkii:

29	Blüten mit je 1 petaloid. Staubblatt
23	" " " 2 " "
10	" " " 3 " "
4	" " " 4 " "
3	" " " 5 " "
1	" " " 6 " "

S. Mettenianum:

51	Blüten mit je 1 petaloid. Staubblatt
30	" " " 2 " "
19	" " " 3 " "
8	" " " 4 " "
5	" " " 5 " "
4	" " " 6 " "
1	" " " 8 " "
4	" " " 9 " "
1	" " " 11 " "

Wenn auch in der Mehrzahl der Fälle nur 1 oder 2 veränderte Staubblätter vorkommen, so kann doch namentlich bei *Mettenianum* die Metamorphose eine gröfsere Anzahl von ihnen ergreifen.

β) Die Art und Weise der Umwandlung.

Die petaloide Umwandlung betrifft, wie aus anderen Fällen bekannt ist, die den Blumenblättern zunächst liegenden epipetalen Staubblätter; aber sie kann sich auch auf den inneren episepalen Kreis erstrecken. Bei den apetalen Blüten von *Mettenianum* wurden gerade die oft allein vorhandenen episepalen Staubblätter metamorphosiert. Die Art der Umwandlung entspricht der Hauptsache nach den bei anderen Pflanzen beobachteten Erscheinungen. Goebel (1886, S. 271) hebt hervor, dafs die Umwandlung entweder von dem Filament oder von der Anthere oder zugleich von beiden ausgeht. Alle 3 Formen der Umwandlung treten bei den *Sempervivum*-Arten auf. Ich will die wichtigsten Formen besprechen, ohne auf alle Einzelheiten einzugehen.

Bei dem normalen Staubblatt ist das Filament etwas flach gedrückt, rot gefärbt und mit Ausnahme weniger Drüsenhaare an der

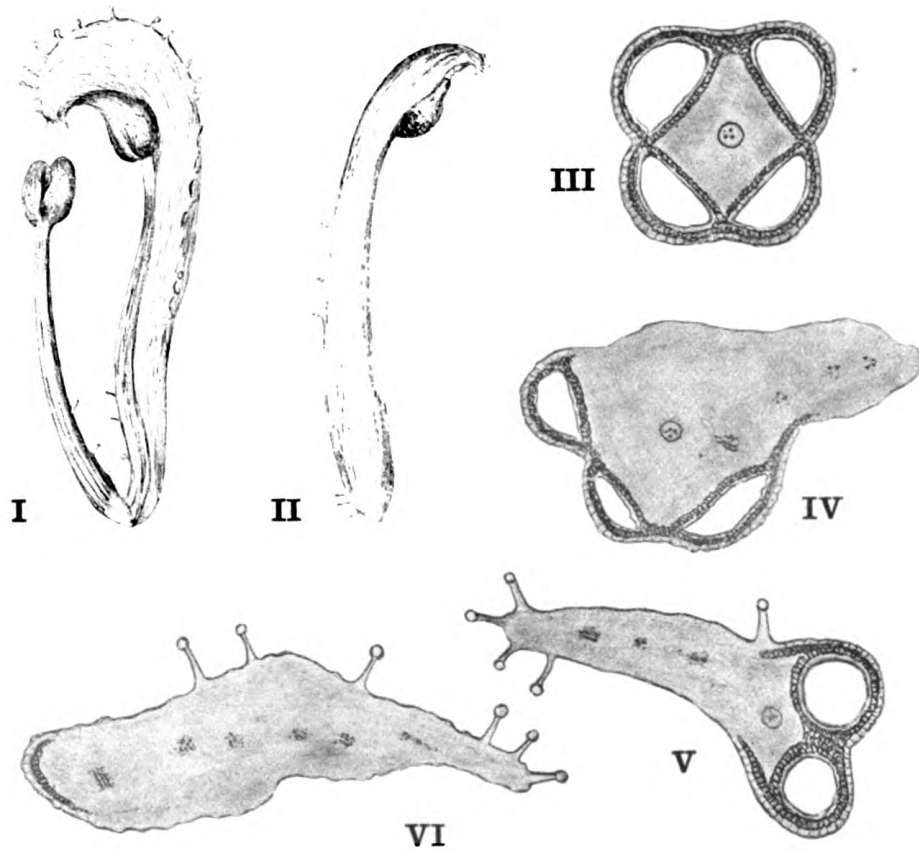


Fig. 7 Petalodie der Staubblätter.

I. *S. Funkii* ein normales und ein halbseitig petaloides Staubblatt. II. *S. Mettenianum* halbseitig petaloides Staubblatt; III. Querschnitt einer normalen Anthere (*Funkii*). IV. Querschnitt einer schwach petaloiden Anthere, 3 Pollenfächer sichtbar (*Moggridgei*). V. Querschnitt einer petaloiden Anthere wie in Figur I (*Funkii*); mit 2 Pollenfächern, fibröse Zellen als Reste der beiden anderen reducirten. VI. Querschnitt eines stark petaloiden Staubblattes; an einer Seite nur ein Rest fibröser Zellen. Die kleinen Kreise oder Gruppen dunkelbrauner Punkte bedeuten die Querschnitte der Gefässbündel. I—II 8 mal, III—VI 26 mal vergrößert.

Basis völlig glatt. Es ist am Ende etwas verjüngt und trägt die Anthere, die nur ein wenig an der Basis von dem Filament abgelöst erscheint. Die Anthere selbst gehört ihrem Bau nach dem mittleren Typus an, bei dem die 4 Antherenfächer den 4 Kanten des Staubblattes entsprechen (vgl. Engler 1876, S. 300). Die beiden inneren oder vorderen d. h. dem Zentrum zugewendeten Antherenfächer sind nur wenig kleiner als die beiden äußeren oder hinteren Fächer (Fig. 7, III). Das Connectiv in dessen Mitte das Gefäßsbündel verläuft, tritt nach außen nicht hervor. Der Querschnitt zeigt, daß die mit schraubigen Verdickungen versehenen fibrösen Zellen das ganze Antherenfach umgeben. Der Pollen besteht aus etwas tetraedrischen Zellen.

Die Formen der Umwandlung:

1. Die Umwandlung betrifft mehr oder weniger Filament und Anthere.

Das ist der häufigste Fall, allerdings mit mancherlei Verschiedenheiten verbunden. Allgemein geht die Umbildung von der Hinterseite der Anthere aus, indem durch Entwicklung von Parenchym die beiden Fächer auseinander gedrängt werden; diese selbst können dann mehr oder weniger reduziert werden. Ziemlich gleichzeitig erfolgt bald nur auf einer bald auf zwei Seiten die Verbreiterung des Filaments. Zwei Hauptfälle will ich dabei unterscheiden:

A. Petaloide Ausbreitung mit seitlichem Antherenrest.

Die Petalodie ergreift vor allem eine Längsseite des Filaments, während die andere noch kaum verändert erscheint (Fig. 7, I). An der Anthere breitet sich die entsprechende Seite petaloid aus und wölbt sich kapuzenförmig über die wenig veränderten Antherenfächer. An Querschnittsbildern der verschiedenen Stadien erkennt man, daß zuerst eine hintere Ecke sich ausbreitet, an der dann das Antherenfach nicht ausgebildet oder nur noch durch fibröse Zellen angedeutet ist (Fig. 7, IV). Dann wird auch ein 2. Fach ergriffen. Nun würde man vermuten, daß dieses 2. Fach der gleichen Seite angehörte und daß die übrig bleibenden 2 Antherenfächer (Fig. 7, V) der einen linken oder rechten Hälfte angehören. Mir schien es aber, als gehörten die beiden Fächer der vorderen Hälfte an; danach hätte sich das Staubblatt in radialer Richtung d. h. von hinten nach vorn ausgebreitet. Dafür

spricht, daß solche Gebilde nicht mit ihrer Fläche tangential sondern häufig schief radial stehen, wenn auch spätere Verschiebungen eintreten.

Die Petalodie geht dann weiter, es verschwindet das 3. Fach (Fig. 7, V). Das Gebilde erscheint als ein schmales noch etwas dickliches Blumenblatt, an dessen einer Seite noch eine Einkrümmung deutlich ist. Hier findet sich der Rest des 4. Faches, bisweilen nur eine Schicht fibröser Zellen (Fig. 7, VI).

B. Petaloide Ausbreitung mit Antherenresten auf der Innenfläche.

Die petaloide Ausbreitung ergreift die beiden hinteren Antherenfächer und gleichzeitig die entsprechenden Längsseiten des Filaments, dessen Mitte als stärkere Hauptrippe der Blätter erscheint. Die beiden vorderen Antherenfächer liegen auf der Innenfläche (Fig. 8, I. II). Bei stärkerer Umbildung werden auch sie reduziert; an anscheinend typischen Petalen erkennt man bei stärkerer Vergrößerung ein kleines reduziertes Pollenfach (Fig. 8, III), während die fibrösen Zellen sich noch weit über das Fach ausbreiten. Auch hier sah ich petaloide Gebilde in denen allein die fibrösen Zellen den Antherencharakter andeuteten.

Diese gewisse Selbständigkeit der fibrösen Zellen tritt auch bei den Umbildungen von Staubblättern in Karpide und von diesen in jene hervor. Bei solchen unabhängig vom Pollenfach ausgebildeten fibrösen Zellen beobachtet man Veränderungen der Form und Struktur. Die Zellen strecken sich, die Schraubenwindungen werden schwächer, allmählich gehen die Zellen in typische unverdickte und unverholzte Parenchymzellen über (Fig. 8, IV).

Die Reduktion der hinteren, später der vorderen Antherenfächer geht nicht gleichmäßig vor sich; sie findet sich im oberen Teil der Anthere weiter vorgeschritten als im unteren. Der Vorgang erinnert an den von Celakovsky (1898, S. 377) unterschiedenen basithecischen Typus der petaloiden Umwandlung im Gegensatz zu dem acrothecischen Typus, bei dem die Anthere sich am längsten an der Spitze erhält. Für die Umwandlung bei *Sempervivum* ist eigentlich das Fortschreiten von hinten nach vorne viel charakteristischer.

2. Die Umwandlung betrifft hauptsächlich die Anthere.

Schon in den vorher besprochenen Fällen kann die Umbildung stärker an der Anthere als an dem Filament erfolgen. Besonders bei

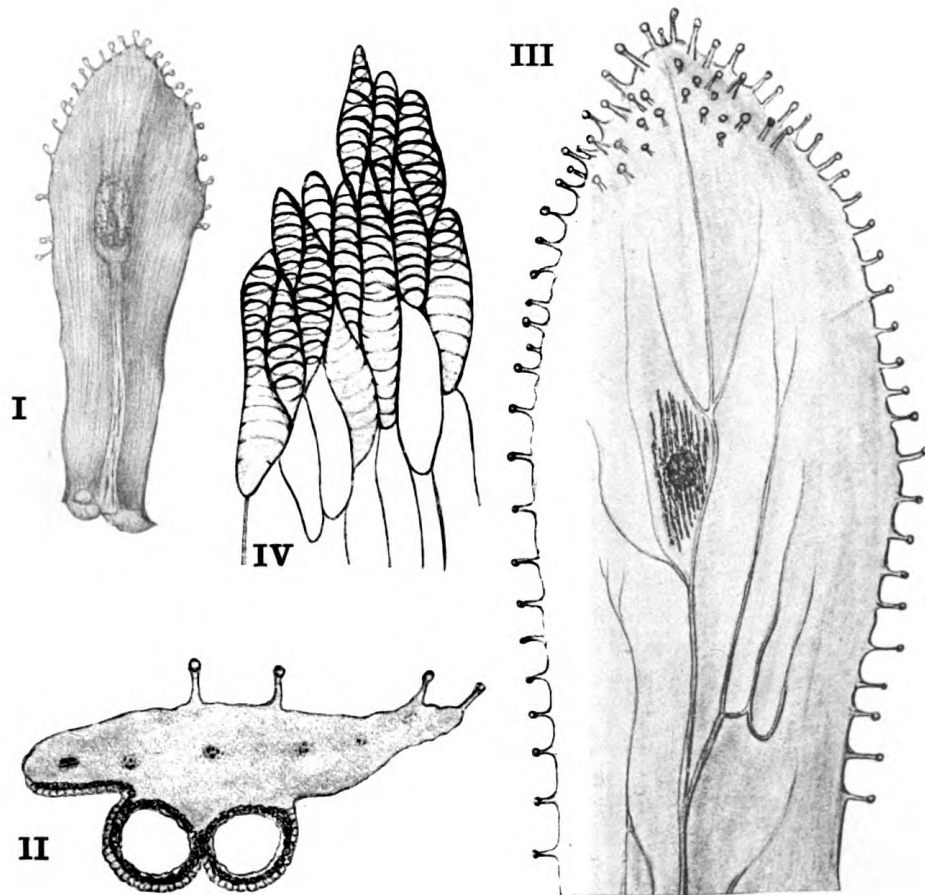


Fig. 8 Petaloide Staubblätter von *S. Funkii*

I. Petaloides Staubblatt mit kleiner Anthere auf der Innenseite. II. Querschnitt durch ein ähnliches nur schwächer petaloides Staubblatt; 2 Pollenfächer, ein drittes nur durch einen Rest fibröser Zellen angedeutet. III. oberer Teil eines Blumenblattes, mit ganz kleinem Pollenfach; fibröse Zellen sich in das umgebende Gewebe ausbreitend. IV. die etwas anormalen, gestreckten, fibrösen Zellen aus einer Stelle ohne Pollenfach, allmählich in gewöhnliches Parenchym übergehend. I 8 mal, II 26, III 15, IV 450, mal vergrößert.

Mettenianum sieht man wenig veränderte Filamente mit verbreiterter Hinterfläche der Anthere. Die allerersten Stadien der Umbildung kann man an der Bekleidung der Hinterfläche mit Drüsenhaaren erkennen; bisweilen finden sie sich nur auf dem Gipfel der Anthere.

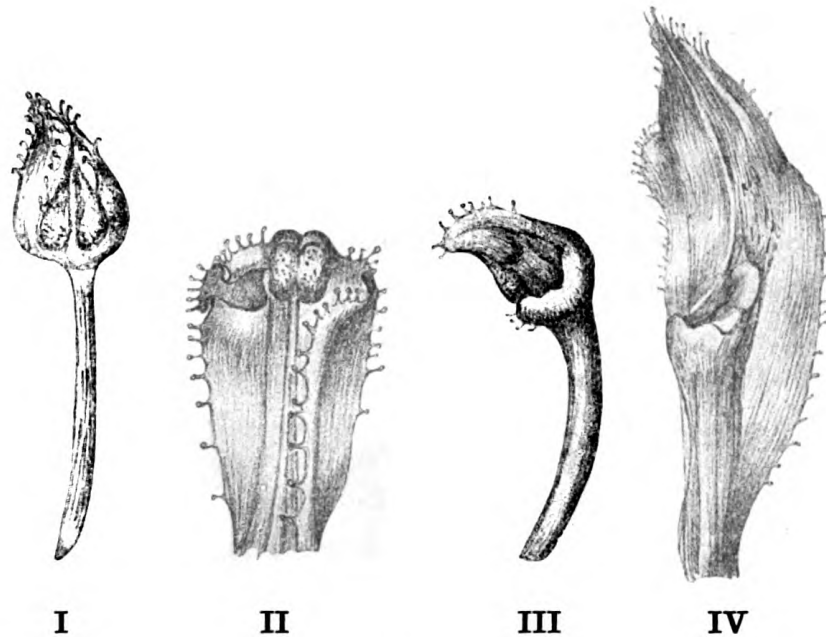


Fig. 9. Petaloide Staubblätter.

I und II *S. Funkii*; I nur die Anthere petaloid, auf der Innenseite Pollensäcke. — II Wesentlich nur das Filament petaloid. — III und IV *S. Moggridgei*; III besonders Anthere petaloid, die Pollensäcke noch angedeutet. — IV stark petaloid, Pollensäcke nur als kleine wulstige Falten angedeutet. — Alle Figuren 8mal vergrößert.

In manchen Fällen tritt die Umwandlung der Anthere allein sehr deutlich hervor. Die hintere Seite gestaltet sich zu einem petaloiden Gebilde, das die vorderen Antherenfächer umhüllt. In dem abgebildeten Beispiel (Fig. 9, I) war noch ein drittes Antherenfach angedeutet.

3. Die Umwandlung betrifft hauptsächlich das Filament.

Die hierher gehörigen Fälle sind bisher selten beobachtet worden. Das Filament breitet sich petaloid aus, während die Anthere unverändert erscheint. Allerdings erstreckt sich die Veränderung gewöhnlich auch auf die Hinterseite der Anthere. Die Figur 9, II gibt ein Bild kom-

plizierterer Verhältnisse, weil auf der einen Seite des noch erkennbaren Filamentes die petaloide Ausbreitung neben der Anthere eine Quersfalte bildet, während auf der anderen Seite die Ausbreitung wie in 2 Lamellen gespalten erscheint.

Im Allgemeinen findet man die verschiedenen Formen der Umbildung bei allen untersuchten *Sempervivum*-Arten. Ganz eigenartige Bildungen zeigten sich nur bei *Moggridgei*, wo neben gewöhnlichen Umwandlungsformen die in Fig. 9, III. IV abgebildeten petaloiden Staubblätter vorkamen. In einer Blüte beobachtete ich 6 solcher Gebilde. Bei starker Petalodie sah man auf der Innenfläche der hellroten Blättchen stärker rot gefärbte Falten und an Stelle der vorderen Antherenfächer unregelmäßige Höcker.

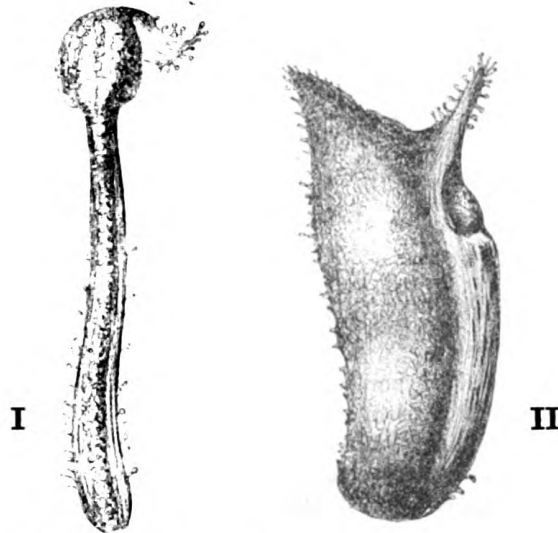


Fig. 10. *Sempervivum Mettenianum*.

I Staubblatt (epispales) an der Anthere kelchartig grün in einen etwas gefransten Zipfel übergehend. — II Kelchblatt, auf der inneren Seite mit einem rotgefärbten, filamentartigen Streifen, der oben einen gelblichen Antherenrest trägt und dann in einen roten, langgewimperten Fortsatz übergeht. — 8 mal vergrößert.

f) Umwandlung in Kelchblätter.

Eine sepaloide Umbildung der Staubblätter ist eine relativ sehr seltene Erscheinung. Masters (1886, S. 339) wie Penzig (I, 1890, S. 462)

erwähnen den von Gris (1858, S. 330) beschriebenen Fall bei *Philadelphus speciosus*. Bei einer Blüte dieser Pflanze trug ein Kelchblatt eine Antherenhälfte.

Auch bei *Sempervivum* handelt es sich um seltene Erscheinungen. In einigen apetalen Blüten von *Mettenianum* trat eine Verbreiterung des Filamentes und besonders der Hinterseite der Anthere ein; die Ausbreitung hatte kelchartigen Charakter, sie war dicklich grün und dicht mit Drüsenhaaren besetzt. An der Spitze ging die sepaloide Ausbreitung in einen gefransten Zipfel über (Fig. 10, I).

Nur in einer Blüte von *Mettenianum* beobachtete ich einen Fall, der dem von Gris erwähnten entspricht (Fig. 10, II). An einer Blüte mit 7 Blumenblättern, 12 Staubblättern und 10 Karpiden zeigte sich ein dickes typisches grünes Kelchblatt, das an der Innenseite die Andeutung eines rotgestreiften Filamentes und oben eine Antherenhälfte trug. Oberhalb von dieser ging das Blatt in einen blumenblattartigen gefransten roten Zipfel aus; es war demgemäß auch eine petaloide Umbildung eingetreten.

g) Die Umwandlung von Staubblättern in Karpide und von Karpiden in Staubblätter.

In der Einleitung (S. 7) wurde die vielfach beschriebene Pistillodie der Staubblätter bei der kultivierten Rasse von *S. tectorum* kurz erwähnt, ebenso wie die sonstigen gelegentlichen Angaben für *S. montanum* und *arachnoideum*. Bei der letzten Species hat Wydler (1860, S. 384) auch die Umwandlung eines Karpides in eine Anthere beobachtet.

In den Versuchen mit *Funkii* 1903—04 wurde fast ausschließlich die Staminodie der Karpide bemerkt; in den Versuchen von 1905 wurden beide Umwandlungsformen bei den untersuchten Arten festgestellt. In vielen Fällen läßt sich die Art der Umbildung nach den Stellungsverhältnissen gut beurteilen. Aber es zeigen sich doch manche Schwierigkeiten, weil die karpidähnlichen Staubblätter ganz dicht an den Karpidenkranz herantreten. In stärker veränderten Blüten kann die Stellung der Staubblätter wie der Karpiden sehr unregelmäßig sein; beide können durcheinander geworfen sein. Staubblätter stehen zwischen den Karpiden oder direkt im Zentrum der Blüte. Außerdem

kann eine frühzeitige Verwachsung von Staubblatt- und Karpidanlagen eingetreten sein. In Blüten mit mehreren Karpid-Antheren erscheint die Zahl der Staubblätter oft reduziert. Bei den schwankenden Zahl- und Stellungsverhältnissen der Sempervivum-Blüten ist allerdings kein großes Gewicht darauf zu legen. Für eine solche Verwachsung sprechen jedoch meine Beobachtungen an *Sedum spectabile*, dessen Blüten sich durch eine kleine und relativ sehr konstante Gliederzahl auszeichnen. Auch bei dieser Pflanze gelang es mir, die Bildung von Karpid-Antheren zu veranlassen; das Gebilde safs im Kreis der Karpide, das entsprechende Staubblatt fehlte dabei. Ich will aber auf die hier berührten Fragen nicht eingehen und beschränke mich darauf, eine Übersicht der wichtigsten Umbildungsformen zu geben. Ich bezeichne die Gebilde, die hauptsächlich im Kreis der Staubblätter auftraten, als Staubblatt-Karpide, die des Karpidenkreises als Karpid-Antheren.

α) Verteilung der Umwandlungsformen.

In der ersten Hälfte der Tabelle gebe ich die Zahl der Blüten mit irgend welchen Zwischenformen von Staubblatt und Karpid, in der zweiten die Verteilung der beiden Hauptformen, ohne aus den angegebenen Gründen für die Richtigkeit in allen Fällen ganz einzustehen.

Tabelle XIII.

Vorkommen der Zwischenformen von Staubblatt und Karpid bei 4 Sempervivum-Arten.

Species	Exem- plare	Zahl der			Zahl der Blüten		
		neogenen Blüten	Blüten mit Zwischen- form	auf 100	mit Staub- blatt- Karpid	mit Karpid- Anthere	mit beiden Zwischen- formen
<i>Funkii</i>	23	468	67	14,3	8	61	2
<i>Mettenianum</i>	10	500	103	20,6	44	63	4
<i>albidum</i>	6	276	41	14,8	36	9	4
<i>Moggridgei</i>	5	66	11	16,6	5	7	1

Man ersieht daraus, wie ungleich die Verteilung der beiden Hauptformen je nach der Species ist; die eine, wie *Funkii*, neigt mehr

zur Umwandlung der Karpide, eine andere, wie *albidum*, mehr zu der der Staubblätter; *Mettenianum* und *Moggridgei* zeigen beides. Nur in wenigen Blüten (letzte Kolumne) treten beide Formen gleichzeitig auf.

Für *Funkii* läßt sich die Steigerung der Anomalie in den Versuchen 1905 gegenüber den früheren deutlich nachweisen. Es fanden sich 1903—04 unter 287 Blüten 10 d. h. 3,4%, 1905 unter 468 Blüten 67 d. h. 14,3% mit der betreffenden Anomalie.

Um eine Vorstellung von der Zahl der umgebildeten Organe in einer Blüte zu geben, führe ich die Zählungen für die Karpid-Antheren von *Funkii* und *Mettenianum* und für die Staubblatt-Karpide für *albidum* an.

S. Funkii:

in 47 Blüten je 1 Karpid-Anthere

9	"	"	2	"
5	"	"	3	"

S. Mettenianum:

in 39 Blüten je 1 Karpid-Anthere

12	"	"	2	"
7	"	"	3	"
2	"	"	4	"
1	"	"	6	"
1	"	"	7	"
1	"	"	8	"

S. albidum:

in 22 Blüten je 1 Staubblatt-Karpid

9	"	"	2	"
2	"	"	3	"
2	"	"	4	"
1	"	"	15	"

β) Die Art und Weise der Umwandlung.

Für *S. tectorum* beschreibt Mohl (1845, S. 44) am eingehendsten die Umwandlung der Staubblätter in Karpide. Der Prozeß beginnt auf der Hinterseite der Anthere durch Verbreiterung des Connectivs

zu einem grünen, karpidartigen Rücken, während an den Seiten in den Furchen zwischen ihm und den vorderen Antherenfächern Samenknospen auftreten. Die Spitze kann noch Teile der Antherenfächer als rote Kappen tragen oder sich zu einer Art Griffel verlängern. In stärkeren Graden der Umbildung wird das Filament verbreitert und verkürzt und stellt mit der veränderten Anthere bereits ein karpidartiges Ganze vor, an dessen offener Innenseite Samenknospen hervortreten. Durch Zusammenschließen der Ränder entstehen dann typische Karpide.

Eine Reihe verschiedener Umwandlungsstufen hat bei der gleichen Pflanze Engler (1876, S. 310) beschrieben. Bemerkenswert sind diejenigen Fälle, in denen an den vertieften und erweiterten Seitenfurchen der Antheren je 2 Reihen von Samenknospen entstehen.

Bei den von mir untersuchten Arten kommen, zum Unterschied von *tectorum*, die beiden anscheinend entgegengesetzten Prozesse der Umwandlung von Staubblätter in Karpide und von diesen in jene vor; es ergibt sich daraus ein viel größerer Reichtum an Zwischenformen. Bei der Schwierigkeit bloß nach den Stellungsverhältnissen solche Organe richtig zu beurteilen, könnte man sich noch an ein anderes Hilfsmittel halten. Man könnte die Regel aufstellen: die für die Metamorphose eines Blütenorgans maßgebenden Bedingungen beruhen auf einem Übergreifen derjenigen Bedingungen, die für die Bildung des vorhergehenden oder des nachfolgenden Organkreises maßgebend sind. Daher wird diejenige Seite des Organs zuerst von der Umwandlung betroffen, die dem betreffenden benachbarten Organe entspricht. Die Kelchblätter werden auf ihrer Innenseite petaloid, die Blumenblätter auf der Außenseite sepaloid. Zuerst werden die epipetalen Staubblätter petaloid und zwar auch auf der Außenseite. Aber die Regel stimmt nicht für den Übergang der Staubblätter in Karpide; denn es wird die diesen abgewandte Außenseite der Staubblätter karpidoid. Nehmen wir veränderte Organe des Karpidkreises selbst, so begegnet man beiden Fällen, Staubblatt-Charakter auf der Außenseite, andererseits auch auf der Innenseite. In derselben Blüte z. B. von *Moggridgei* beobachtete ich Karpide, auf deren Außenseite Antheren saßen, ebenso solche mit Staubblatt-Charakter der Innenfläche. Es treten dabei auch Verschiebungen ein, so daß die Antheren sich auf einer der radialen Flanken befinden.

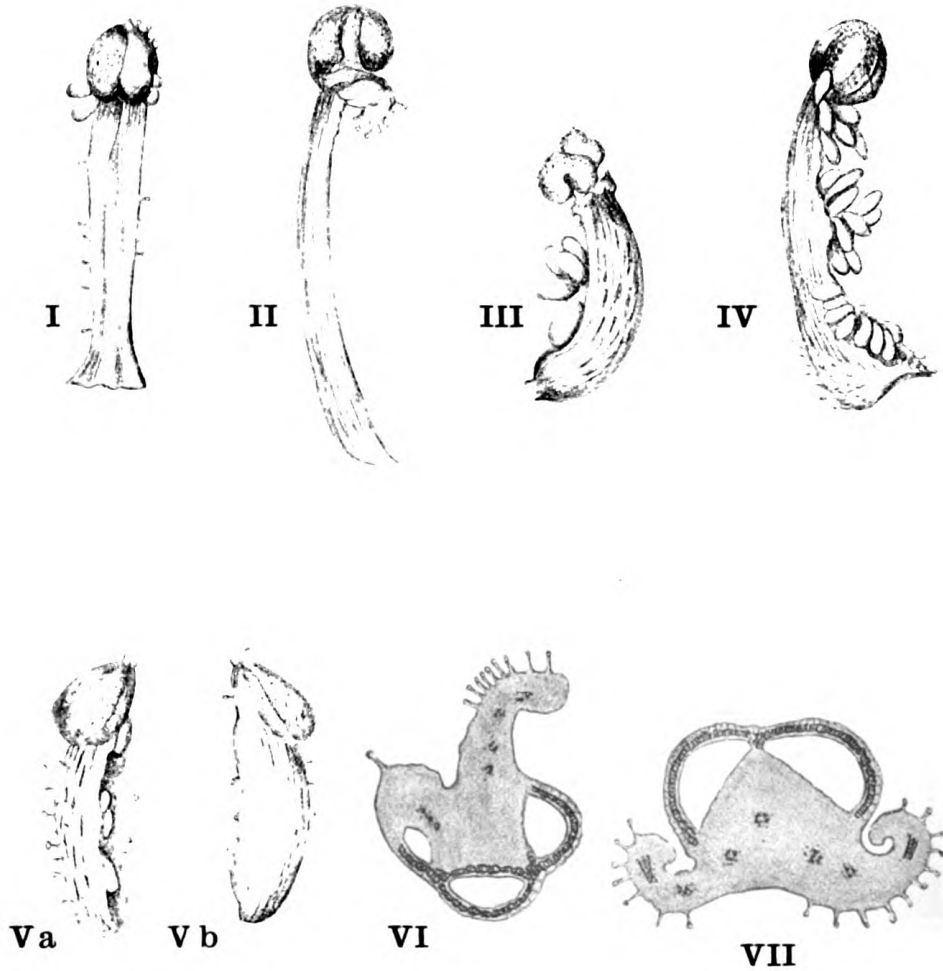


Fig. 11 Staubblatt-Karpide.

I. *S. Moggridgei* Samenknospen zu beiden Seiten der Anthere. II. *S. albidum* mit grünem bewimpertem Auswuchs an der Anthere, Beginn der Karpidbildung. III. *S. Funkii* Filament mit Samenknospen, unterhalb der Anthere rote Knöspschen, Antherenanlagen an Stelle von Samenknospen). IV. V. *S. albidum* Filament mit Längsspalt und zahlreichen Samenknospen. V. a b *S. Mettenianum* das gleiche Staubblatt vorn und hinten bei a Spalte mit Samenknospen. VI. und VII. *S. Mettenianum* Querschnitte durch Anthere mit Karpidbildung; in VI. 3 Pollenfächer, in VII. 2 sichtbar, die etwas eingerollten Ränder bilden Furchen, in denen später Samenknospen entstehen. I–V 8 mal VI–VII 26 mal vergrößert.

Die verschiedenen Zwischenformen:

1. Das Staubblatt in seiner Form mehr oder weniger erhalten, mit Samenknospen.

Staubblätter mit Antheren, an deren Seitenfurchen Samenknospen sitzen, sind für *S. tectorum* von Mohl, Masters und Engler beschrieben worden. Gelegentlich können auch bei den hier untersuchten Arten solche Gebilde auftreten (vgl. Fig. 11, I). Am unteren Teil der Anthere ist durch Auseinanderrücken der vorderen und hinteren Antherenfächer, die zum Teil durch parenchymatisches Gewebe ersetzt sind, je eine schmale Furche entstanden, aus der die Samenknospen frei hervorragen. Häufig sieht man die allerersten Anfänge in deutlicher Form bei Staubblättern von *Mettenianum* und besonders von *albidum*. An der einen Flanke der 4fährigen Anthere tritt ein grünlicher oder fast farbloser, drüsig bewimperter Wulst hervor (Fig. 11, II), der noch keine Samenknospen trägt. Der Wulst kann sich dann stärker entwickeln und die Umbildung der beiden hinteren Antherenfächer nach sich ziehen (Fig. 11, VI und VII); in den mit den vorderen beiderseits gebildeten Furchen sitzen die Samenknospen. In gewissem Gegensatz zu dieser Umbildungsform stehen die Fälle, in denen hauptsächlich das Filament zum Samenträger wird, Fälle, die bei *tectorum* nicht vorzukommen scheinen; vgl. für *Funkii* Fig. 11, III, für *albidum* Fig. 11, IV. Das etwas verbreiterte und bereits verkürzte Filament spaltet sich der Länge nach, und in der dadurch entstehenden Furche treten die Samenknospen oft in großer Menge dicht gehäuft hervor. Die Anthere kann ebenfalls in Mitleidenschaft gezogen werden, das Filament verbindet sich mit der veränderten Hinterseite der Anthere, wobei ihre hinteren Fächer reduziert sein können (Fig. 11, Va und b).

2. Das Staubblatt nimmt mehr Karpidcharakter an.

Die karpidähnliche Bildung kann entweder am Filament oder an der Anthere deutlicher hervortreten. Der erste Fall ist der häufigere. Das Filament verbreitert sich besonders im oberen Teil (Fig. 12, III a b) und bildet auf der Innenseite eine breite Spalte, in der die Samenknospen sitzen. Ein noch breiteres Filament mit weiterer Spalte und zwei deutlichen Reihen von Samenknospen zeigt das Staubblatt von *Funkii* (Fig. 12, II). Als ein stärker entwickeltes Stadium des in

Fig. 11, I abgebildeten Staubblattes ist das Bild in Fig. 12, I anzusehen, wo an dem verbreiterten Filament mit Samenknospen besetzte Spalten herablaufen, die sich von den Furchen zwischen den vorderen und hinteren Antherenfächern herleiten.

Nur bei *S. albidum* beobachtete ich Gebilde, die an ähnliche von *S. tectorum* erinnern. Hier kommt vor allem die Veränderung der Anthere in Betracht. Die vorhin erwähnte wulstartige Verbreiterung an der Basis der Anthere ergreift die Hinterseite der Anthere und endet in einem griffelartigen Fortsatz. Unterhalb der Anthere treten in einer Furche des verbreiterten Filamentes Samenknospen auf (Fig. 12, IV). In den Blüten von *albidum* finden sich noch viel auffallendere Formen (Fig. 12, VI). Neben der wenig veränderten Anthere sitzt ein karpidähnliches Gebilde mit Samenknospen im offenen Spalt. Zugleich ist aber am Grunde des Spaltes noch eine deutliche Antherenanlage vorhanden. Hier sieht es aus, als wären ursprünglich 2 Staubblätter verwachsen, von denen die eine Anthere in ein Karpid umgewandelt wäre. Ein noch weiteres Stadium liegt in Fig. 12 V vor, in der ein offenes Karpid mit dem Staubblatt verwachsen zu sein scheint. Diese Gebilde fanden sich in mehreren Blüten stets im Staubblattkreis vor.

3. Karpidähnliche Gebilde mit Staubblattteilen auf der Innenseite.

Die hierher gehörigen Bildungen saßen meistens in dem Karpidenring oder ihm ganz nahe; im letzteren Falle könnte eine Veränderung einer ursprünglichen Staubblattanlage vorliegen.

Charakteristisch ist die allgemeine Karpidform aber ohne Griffel. Die Außenseite, die dicklich, grün, dicht drüsig erscheint, entspricht ganz einem Karpid. Auf der Innenseite, also dem Zentrum zugewendet, findet sich oben die gelbrote Antherenhälfte, an deren beiden Seiten je ein Spalt mit Samenknospen herabläuft. Auch das Filament kann noch deutlich vorhanden sein (Fig. 13, II) und durch rötliche Färbung auffallen, oder nur noch als Andeutung existieren (Fig. 13, I), oder so gut wie fehlen (vgl. die Abbildung 26 a b in meiner früheren Arbeit 1905, S. 282). Die Querschnittsbilder eines Gebildes (Fig. 13, III) zeigen nur ein Pollenfach im oberen Teil; es verschwindet mehr und

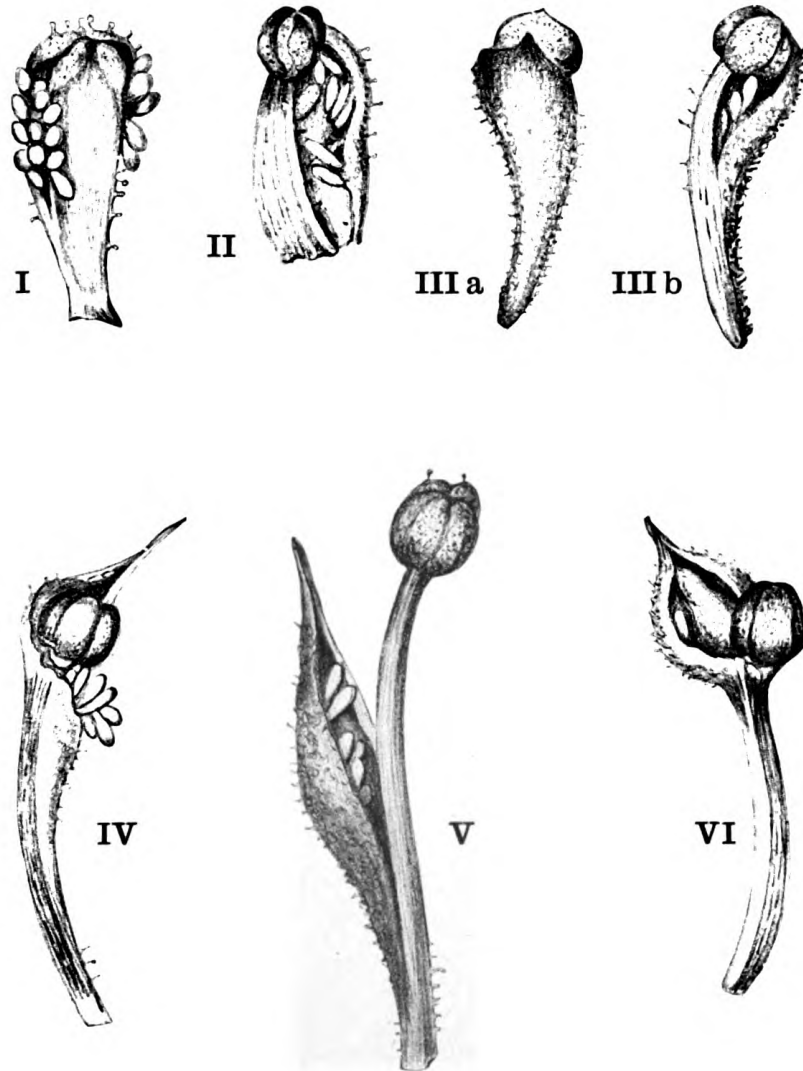


Fig. 12 Staubblatt-Karpide.

I. *S. Moggridgei* an jeder Seite Spalt mit Samenknospen. II. *S. Funkii* Filament stark verbreitert karpidartig mit 2 Reihen von Samenknospen. III a, b *S. Mettenianum* mit einem Spalt an der Innenseite, a von aussen, b von innen. IV—VI *S. albidum* IV Anthere auf der Aussenseite karpidartig mit Griffel, V scheinbare Verwachsung eines Staubblattes mit geöffnetem Karpid. VI. neben der Anthere ein karpidartiger grüner Auswuchs, auf dessen Innenseite ein roter Antherenrest sitzt. Alle Figuren 8 mal vergrössert.



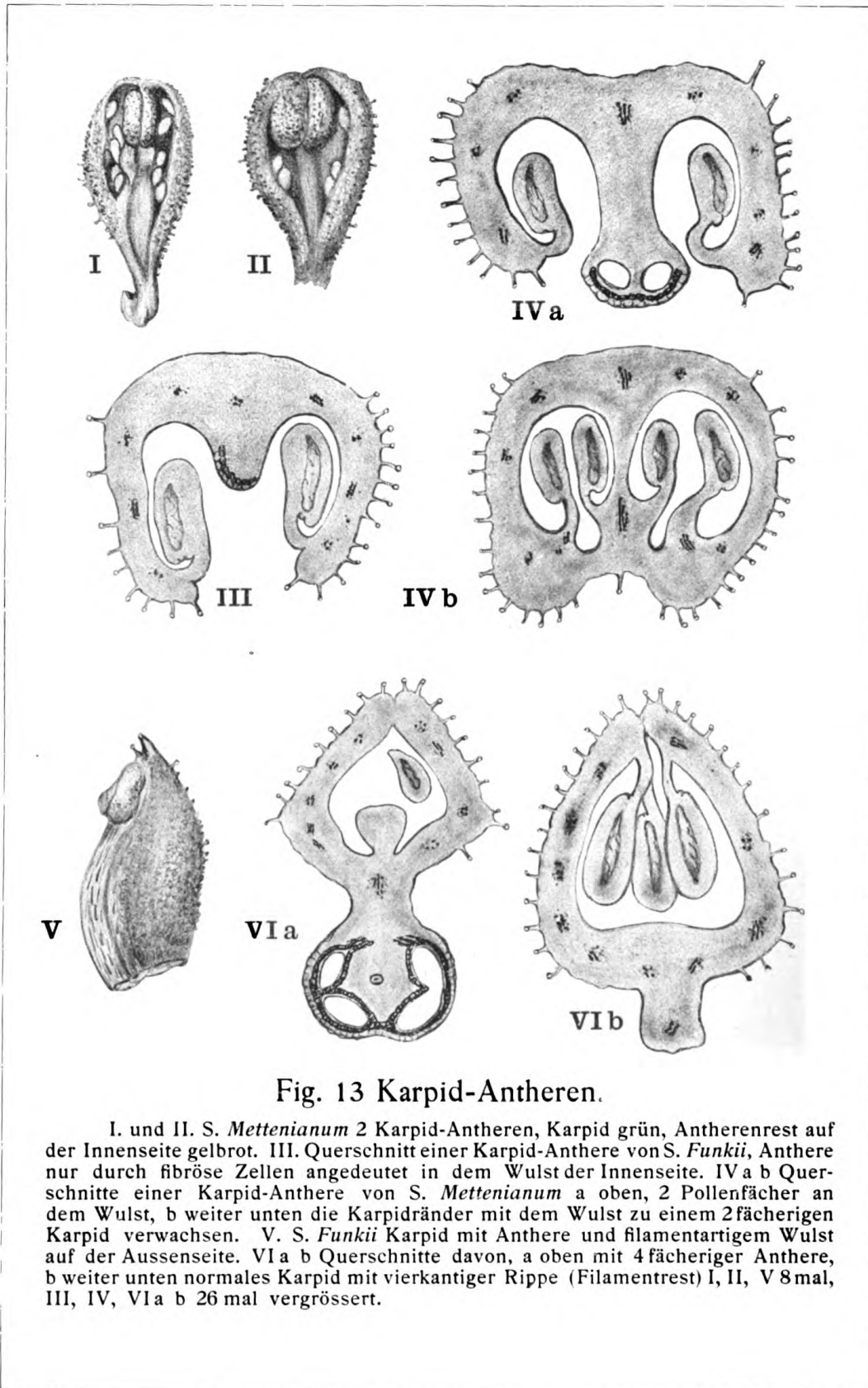


Fig. 13 Karpid-Antheren.

I. und II. *S. Mettenianum* 2 Karpid-Antheren, Karpid grün, Antherenrest auf der Innenseite gelbrot. III. Querschnitt einer Karpid-Anthere von *S. Funkii*, Anthere nur durch fibröse Zellen angedeutet in dem Wulst der Innenseite. IV a b Querschnitte einer Karpid-Anthere von *S. Mettenianum* a oben, 2 Pollenfächer an dem Wulst, b weiter unten die Karpidränder mit dem Wulst zu einem 2fächerigen Karpid verwachsen. V. *S. Funkii* Karpid mit Anthere und filamentartigem Wulst auf der Aussenseite. VI a b Querschnitte davon, a oben mit 4fächeriger Anthere, b weiter unten normales Karpid mit vierkantiger Rippe (Filamentrest) I, II, V 8 mal, III, IV, VI a b 26 mal vergrößert.

mehr nach unten; in anderen Fällen können oben 2 Pollenfächer ausgebildet sein.

Bei *Mettenianum* beobachtete ich noch eine weitere Komplikation. Die Antherenhälfte an der Innenseite saß auf einem vorspringenden Wall; nach unten, wo die Anthere aufhörte, verwuchs dieser Wall mit den beiden Rändern des Karpids. Dadurch entstand ein zweifächriges Karpid mit 4 Reihen von Samenknospen (Fig. 13, IV a b).

Die Staubblattteile, namentlich die Antherenreste können bei manchen Formen sehr klein sein oder überhaupt in der Höhlung des Karpids nicht mehr sichtbar sein. Besonders bei *S. Funkii* beobachtet man Karpide, die auf der Innenseite aufgeplatzt sind. Es ist nicht immer geprüft worden, ob noch Antherenreste vorhanden waren; der hermaphrodite Charakter dieser Bildungen trat aber in einer anderen Beziehung deutlich hervor, indem junge Antherenanlagen an Stelle von Samenknospen gebildet wurden (s. weiter unten).

4. Karpidartige Gebilde mit Staubblattteilen auf der Außenseite.

Diese Gebilde verhalten sich gerade umgekehrt, wie die vorhin beschriebenen; es gibt aber auch Fälle, wo die Staubblattteile auf der einen Flanke sitzen.

Höchst wahrscheinlich kommen in gewissen Fällen die Formen durch eine frühe Verwachsung einer Staubblatt- und Karpidanlage zustande. An dem Gebilde (Fig. 13, V) sitzt auf der Außenseite des völlig geschlossenen Karpids eine kleine Anthere, die sich nach unten in ein filamentartiges, rötlich gefärbtes Band fortsetzt. Der Querschnitt durch den oberen Teil (Fig. 13, VI a) zeigt eine 4 fächrige Anthere, die durch ein Mittelstück mit dem Karpid verbunden ist; bei dem Schnitt weiter unten (Fig. 13, VI b) tritt der filamentartige Teil als Längswulst hervor.

In anderen Fällen dagegen ist die Verwachsung zweifelhafter; es sind Gebilde, die den früheren Zwischenformen mehr entsprechen. Auf der Außenseite des etwas gestielten Karpids sieht man eine rotgelbe Antherenhälfte, die nach unten sich in ein filamentartiges Band fortsetzt (Fig. 14). Eigentümlich ist es, daß die beiden Längsspalten mit Samenknospen hier nicht an den Rändern der Antherenfächer,

sondern in dem dicken grünen Karpidenwulst verlaufen. Doch können in ähnlichen Gebilden die Samenknospen in Furchen sitzen zwischen Anthere und Karpidenwand.

5. Doppelkarpide mit Staubblattteilen auf der Aufsenseite.

Diese auffallenden Formen lassen sich sicher nur bei mikroskopischer Untersuchung in ihrer Eigenart erkennen. Zunächst er-



Fig. 14.

Sempervivum Mettenianum.

(8 mal vergrößert.)

Ein Karpid auf der Aufsenseite mit rötlichem filamentartigem Stiel und zweifächriger gelbroter Anthere; zu beiden Seiten von dieser in der grünen Karpidwandung je ein Spalt mit Samenknospen.

scheinen sie ähnlich manchen Formen der letzten Gruppe (4). An der muldenförmigen Aufsenseite, die in einen kurzen breiten Griffel endigt, sieht man einen rotgelben Antherenrest und an beiden Seiten dichtgedrängt die Samenknospen. Bei der seitlichen Stellung (Fig. 15, I) erkennt man, daß vom eigentlichen Karpid sich ein Randwulst abhebt, der die Mulde der Aufsenseite umgibt. Der Querschnitt durch das obere Ende zeigt zwei Antherenfächer zwischen den Randwülsten und dann einen kompakten Zellkörper, der, wie der Querschnitt weiter unten (Fig. 15, II und III) beweist, sich zu einem normalen Karpid gestaltet.

Wie in anderen Fällen (s. S. 51) können die Antherenfächer ganz reduziert sein, sodafs sie in dem Spalt nicht mehr direkt sichtbar sind. Dann

erscheint das Gebilde wie ein einfaches Karpid, das gegenüber sonstigen Fällen auf der Aufsenseite aufgeplatzt ist (s. Fig. 15, IV). Tatsächlich handelt es sich aber um 2 mit ihrer Aufsenseite verwachsene Karpide; bei dem äußeren, allein aufgeplatzen kann man noch ein reduziertes Antherenfach erkennen (Fig. 15, VI). Solche Doppelkarpide habe ich bisher nur bei *Funkii* beobachtet, vielleicht aber bei anderen Arten übersehen.

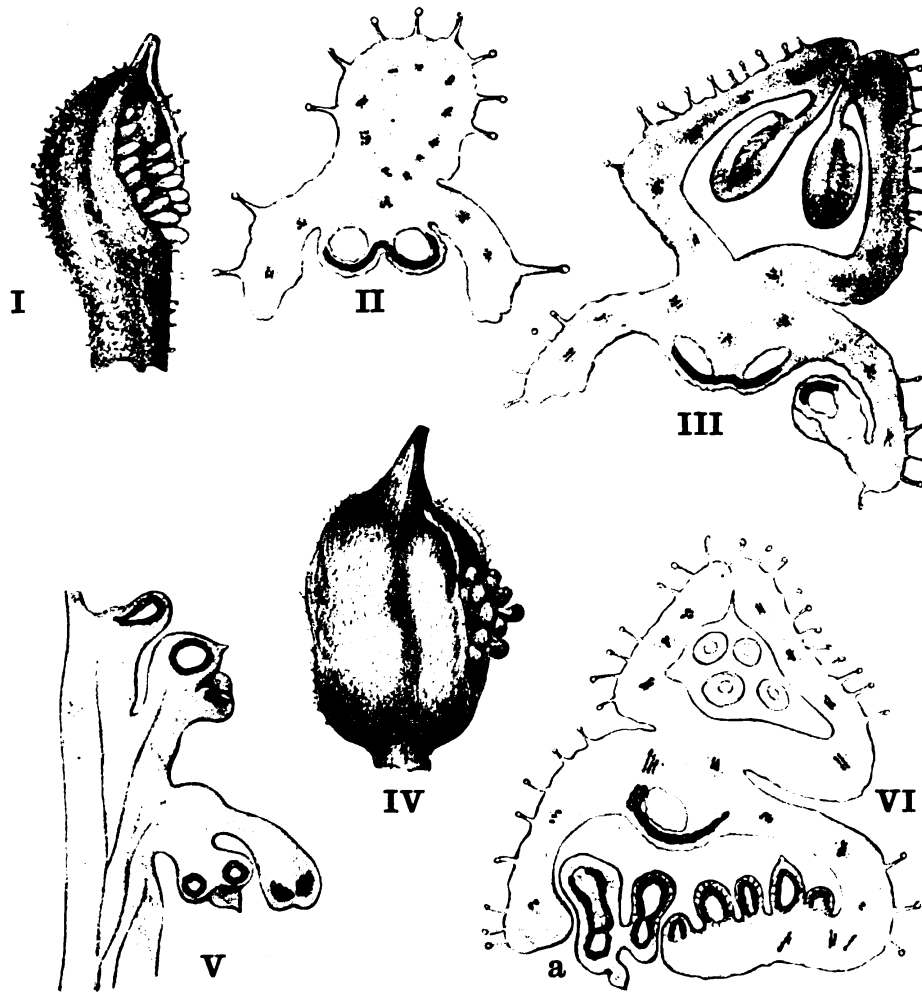


Fig. 15 Doppel-Karpide von *S. Funkii*.

I. Doppelkarpid auf der Innenseite breiter Spalt mit rotem Antherenrest und 2 Reihen von Samenknospen resp. kleinen roten Antherenanlagen. II. und III. Querschnitt davon, II. im obersten Teil, 2 Pollenfächer sichtbar, daneben je ein offener Karpidwulst, das andere Karpid noch geschlossen. III. tiefer unten, das eine Karpid normal, das andere breit offen mit den Resten zweier Pollenfächer; der eine Rand des offenen Karpids trägt eine Mittelform von Samenknospe und Anthere; IV. Doppelkarpid mit zahlreichen rotgefärbten Knöspchen, Samenanlagen, die Pollensäcke bilden. V. Längsschnitt durch die Placenta eines solchen Gebildes mit den Antherenanlagen. VI. Querschnitt, ausser dem normalen Karpid das 2. offene, mit einem Pollenfach (Rest der Anthere), an dem eingekrümmten Rand zahlreiche Antherenanlagen, a eine vierfächerige Anlage nach vorn mit einer neuen kleinen Knospe.

Fig. I und IV 8 mal, II, III, V und VI 26 mal vergrössert.

6. Antherenanlage an Stelle von Samenknospen.

Die Umwandlung von Samenknospen in Pollensäcke ist eine relativ seltene Erscheinung, die zuerst von Salter bei *Passiflora*-Arten, dann bei *Rosa arvensis* von Masters (1886, S. 231) beobachtet worden ist. Die betreffenden Fruchtknoten waren gespalten, und an der Placenta saßen mannigfache Zwischenformen von Pollensäcken und Samenknospen. Goebel (1886, S. 245) beschrieb genauer einen ähnlichen Fall bei *Begonia*-Blüten, deren Blumenblätter neben Samenknospen und Pollensäcken auch Zwischenformen beider trugen, z. B. Samenknospen, die an Stelle des Embryosackes Pollenmutterzellen enthielten. Hildebrand (1886, S. 625) beobachtete bei *Mimulus luteus* neben Samenknospen Pollensäcke mit guten Pollenkörnern, und Molliard (1893) sah bei *Begonia* Samenknospen mit Pollenkörnern im Innern.

Bei *S. Funkii* ist die Entstehung von Antherenanlagen an der Placenta sehr häufig bei den verschiedenen Zwischenformen von Staubblatt und Karpid. Schon 1904 beobachtete ich sie (l. c. S. 283); sie traten auch an den wenigen Beispielen von veränderten Staubblättern mit Samenknospen hervor, so an dem Fig. 11, III abgebildeten Organ dicht unter der Anthere. Ferner fanden sich Antherenanlagen in großer Anzahl in den einfachen (S. 51) oder doppelten (S. 52) Karpiden, die anscheinend ohne Antherenrest bloß gespalten schienen. Immer zeigten sie sich als lebhaft rot gefärbte Knöspchen, die manchmal in dichter Anhäufung der Placenta entsprangen (Fig. 15, V und VI). Bei keiner anderen Art außer *Funkii* wurden sie bisher beobachtet.

Völlig reife, mit Pollenkörnern versehene Pollensäcke sah ich bisher nicht. Immer waren es Antherenanlagen, die im Innern entweder von einem grobzelligen Parenchym (Pollenmutterzellen?) erfüllt oder meistens hohl waren. Die fibrösen Zellschichten waren stets deutlich, wenn auch in sehr verschiedener Menge entwickelt. Vielfach sah man noch Reste der Tapetenschicht. Die Pollensäcke entstehen, wie der Längsschnitt (Fig. 15, V) zeigt, an der Placenta als Auswüchse, die aber, bevor sie sich fertig ausbilden, weiter sprossen, indem seitlich oder aus dem muldenförmigen Ende neue Zellkörper hervortreten. So können unregelmäßige, mehrkammrige Gebilde entstehen, wie z. B. das in Fig. 15, VI mit a bezeichnete, welches aus 4 Kammern und einer kleinen Seitenknospe besteht.

Diese Gebilde finden sich neben typischen Samenknospen an der gleichen Placenta. Es gibt auch Zwischenformen von beiden; die Antherenanlage endigt in eine Art Schnabel, in dem die für die Samenknospe charakteristischen verdickten Chalazazellen sichtbar sind. In seltenen Fällen ist die Form der anatropen Samenknospe erhalten; an Stelle des Embryosackes liegt eine Höhlung, die von der fibrösen Zellschicht umgeben ist. So durchdringen sich die morphologischen wie anatomischen Eigenschaften der männlichen und weiblichen Organe bei *Sempervivum* im weitgehendsten Maße.

h) Gleichzeitige Petalodie und Pistillodie von Staubblättern.

Die Vereinigung der Merkmale von drei verschiedenen Organen an einem einzigen Gebilde ist allem Anschein nach sehr selten zu beobachten. Magnus (1878, S. 38) hat bei *Primula sinensis* in Blumenblätter umgewandelte Staubblätter gesehen, an deren Basis Samenknospen saßen. Ebenso hat Goebel (1886, S. 245) bei *Begonia* Blumenblätter gleichzeitig mit Pollensäcken und Samenknospen beobachtet.

Nur in einer Blüte von *Mettenianum* trat die in Fig. 16, I abgebildete Form hervor. Das Staubblatt mit deutlicher Anthere ist auf der einen Seite durch Verbreiterung, Vergrünung und Spaltung zu einem Karpid mit Samenknospen, auf der andern Seite zu einem dünnen, rot gefärbten und fransig bewimperten Blumenblatt geworden. Eine viel schwächere Andeutung drei vereinigter Blütenorgane bietet das früher erwähnte (s. S. 44 Fig. 10, II) Kelchblatt mit Anthere und petaloidem Zipfel.

4. Die Veränderungen der Karpide.

Die wichtigste Veränderung der Karpide, die Umwandlung in Antheren ist bereits besprochen worden. Dabei erwähnte ich aufgeplatzte Karpide, die erst bei mikroskopischer Betrachtung besonders durch kleine Antherenanlagen ihren männlichen Charakter zeigen. Bei anderen Arten, z. B. *Mettenianum*, fanden sich solche aufgeplatzte Karpide mit offenen Samenknospen ohne Spur von Antheren (Fig. 16, IV). Wenn solche Karpide, wie bei *albidum*, relativ schmal und dünn werden, treten die Samenknospen viel auffallender hervor (Fig. 16, II).

Die Reduktion der Karpide konnte weitergehen, es entstanden fadenförmige grüne, gegen die Spitze rötliche und etwas verjüngte Gebilde (Fig. 16, III), die als Karpinodien entsprechend den Staminodien zu bezeichnen wären. In einzelnen Blüten zeigten sich Verwachsungen von zwei Karpiden und zwar augenscheinlich durch

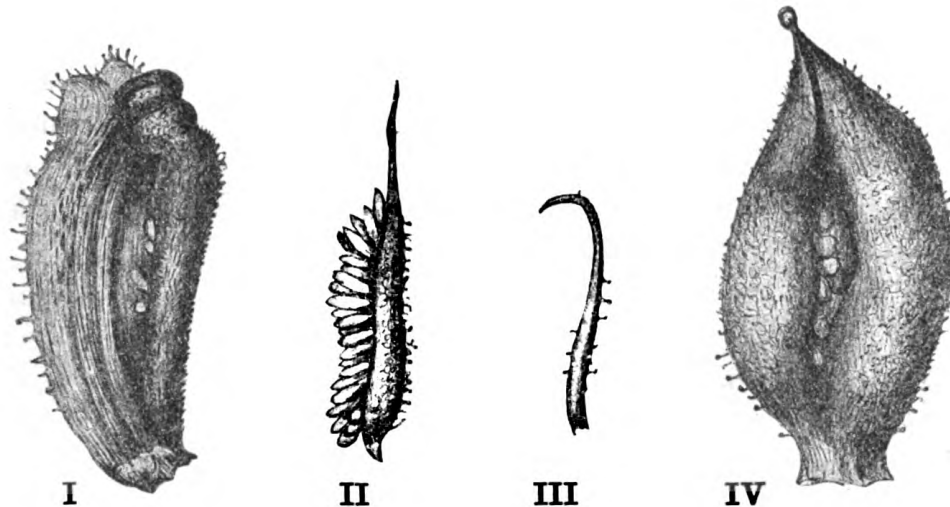


Fig. 16. Karpid-Formen.

I *S. Mettenianum*. Grünes Karpid an der linken Seite mit rotem, petaloïd umgebildeten Filament, das oben die Anthere trägt, die ihrerseits mit dem Karpid verwachsen ist. Das Karpid geöffnet mit sichtbaren Samenknochen. — II *S. albidum*. Ein ganz schmales Karpid dicht mit freistehenden Samenknochen besetzt. — III *S. Mettenianum*. Ein Karpid in einen festen grünen, nach oben umgebogenen rötlichen Faden umgebildet. — IV *S. Mettenianum*. Ein Karpid auf der Innenseite gespalten mit Samenknochen. — Alle Figuren 8mal vergrößert.

seitliche Verbindung zweier benachbarter Organe; dazu kommen die vorhin besprochenen Doppelkarpide, die mit ihrem Rücken verwachsen schienen.

Die petaloïde Umwandlung von Karpiden ist nicht ganz sicher, wenn auch wahrscheinlich. Schon in den Versuchen von 1903/04 bemerkte ich das Auftreten von Blumenblättern im Karpidenkranz; auch 1905 fielen mir einzelne Fälle dieser Art bei *Funkii* und *Mettenianum* auf. Ob hier eine Metamorphose oder eine merkwürdige Verschiebung

der Stellung vorliegt, ist nicht zu entscheiden. In den unten zu erwähnenden Knospenbildungen liefsen sich jedoch Zwischenformen von Karpid und Blumenblatt beobachten.

Die Zahl der Karpide kann im Verhältnis zu den Blumenblättern und Staubblättern vermehrt und vermindert sein. Häufiger als bei den beiden letzteren Organen ist die Vermehrung der Karpide. Im Vergleich zu der Zahl der Blumenblätter war bei *Funkii* die Zahl der Karpide in 131 Blüten (28%) vermehrt, im Vergleich zu der Zahl der Staubblätter in 227 Blüten (48,5%). Es gab unter den 468 neogenen Blüten 101 (21,5%), in denen die Zahl der Karpide die der beiden anderen Organe gleichzeitig übertraf. Ähnlich erwiesen sich die Verhältnisse bei *Mettenianum*. Die Gröfse der Abweichung ergibt sich beispielsweise aus den Zahlen für *Funkii*.

Vermehrung der Karpide im Vergleich zu den Blumenblättern:

in 67 Blüten vermehrt um 1 Karpid

37	„	„	„	2	„
14	„	„	„	3	„
8	„	„	„	4	„
3	„	„	„	5	„
1	„	„	„	6	„
1	„	„	„	8	„

Die Verminderung kann alle Grade erreichen bis zum völligen Ausfall aller Karpide oder bis zu kleinen verkümmerten Anlagen. Bei *Funkii* fanden sich unter 468 Blüten 51 (11%) mit so reduziertem Gynaeceum, bei *Mettenianum* unter 500 nur 22 (4,4%).

5. Knospenbildung; Durchwachsung.

In den Versuchen 1903/04 fanden sich in wenigen Blüten von *Funkii* (l. c. S. 287) Knöspehen, die ich als Nebenblüten bezeichnete; sie bestanden aus einigen Staubblättern und Karpiden, die in der Nähe eines Blumenblattes safsen. Entsprechende Gebilde sah ich bei zwei Exemplaren von *Funkii* 1905. An der Basis eines Blumenblattes safs ein Knöspehen (Fig. 17, II) mit 4 kleinen zarten, roten Blumenblättchen,

die 4 fast sitzende Antheren und 3 Karpide einschlossen. Ein anderes Knöspchen bestand aus 2 Blumenblättchen (in der Fig. 17, I nur eines sichtbar), 5 Staubblättern und 5 Karpiden. Solche Fälle kann man auffassen als Beispiele einer Knospenbildung innerhalb einer Blüte (*Ekblastesis*, Engelmann 1832), eine Erscheinung, die in höherem Grade der Ausbildung bei Gartenvarietäten vielfach vorkommt (Masters 1886, S. 163).

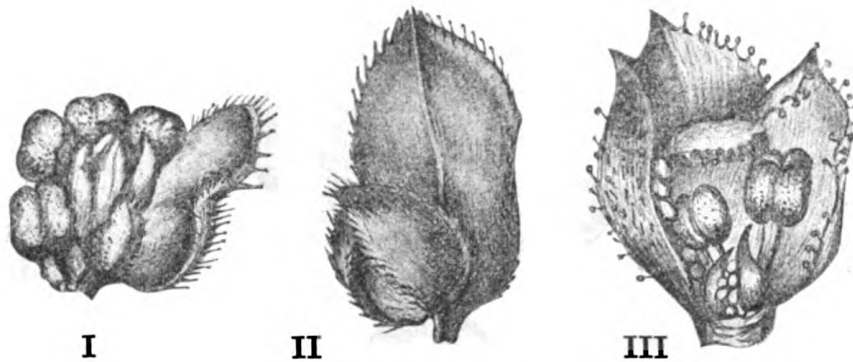


Fig. 17. *Sempervivum Funkii*.

I und II kleine Knöspchen in der Achsel eines Blumenblattes entstanden. I aus 2 Blumenblättchen, 5 kurzen Staubblättern und 5 Karpiden zusammengesetzt. II das Blumenblatt mit dem Knöspchen, bestehend aus 4 Blumenblättchen; im Innern (nicht sichtbar) fast sitzende Antheren und kleine Karpide. — III Knöspchen aus dem Karpidenkranz. Ein offenes Karpid, zum Teil petaloid umgestaltet, an einer Seite mit Samenknospen, zeigt am Grunde einige kurze Staubblätter und kleine, ebenfalls geplätzte Karpide. — Vergrößerung von I und II 5 mal, von III 10 mal.

Noch eigenartiger war die Umbildung eines Karpids zu einer Blütenknospe bei *Mettenianum* (Fig. 17, III). Das Karpid (eigentlich wohl ein Doppelkarpid) war aufgeplatzt und bestand aus mehreren Lappen, von denen der eine (links in der Fig.) noch ganz karpidartig war und im Innern Samenknospen trug; der folgende war zur Hälfte grün dicklich, zur anderen dünn rot, der rechte ganz blumenblattartig, ebenso wie der vierte nach Innen gebogene. Am Grunde saßen 2 Staubblätter und 2 kleine Karpide, von denen eines bereits aufgeplatzt war.

Auch eine zentrale Durchwachsung einer Blüte beobachtete ich bei *Mettenianum* (Fig. 18). Die eigentliche Blüte bestand aus 7 normalen Kelchblättern, 3 Blumenblättern mit Antherenrest und einem normalen Staubblatt. Die letzteren Teile sind in der Abbildung nicht gezeichnet. Aus dem Zentrum der Blüte erhob sich ein roter zylindrischer Stiel, der 3 Blumenblätter (2 mit Antherenrest), 3 Staubblätter zum Teil mit unförmlichen Antheren und 3 Karpide trug.



Fig. 18. Durchwachsene Blüte bei *S. Mettenianum*.

Von der eigentlichen Blüte nur der Kelch sichtbar (Blumenblätter und ein Staubblatt entfernt), im Zentrum erhebt sich ein roter Stiel, der 3 Blumenblätter (2 petaloide Staubblätter), 3 Staubblätter und 3 Karpide trägt. — 10 mal vergrößert.

III. Übersicht der Blütenvariationen.

Nachdem ich in der früheren Arbeit über *Sempervivum* eine allgemeine Übersicht aller bisher beobachteten morphologischen Veränderungen gegeben habe, will ich hier speziell die Blütenvariationen ins Auge fassen. Durch die neueren Untersuchungen ist die Steigerung in der Mannigfaltigkeit und dem Umfange solcher Variationen nach-

gewiesen worden. Neben der kurzen Zusammenfassung der vorhergehenden Abschnitte füge ich zur Ergänzung noch einige dabei nicht berührte Punkte hinzu.

1. Änderungen der Gliederzahl.

S. Funkii.

Typische archeogene Blüten (750):

für Blumenblätter und Karpide $n = 9-16$

für Staubblätter $2n = 18-32$

Hauptzahl für $n = 11$ in 50% der Fälle.

Abweichende neogene Blüten (468):

Grenzen der Variation für Blumenblätter $n = 4-21$

Hauptzahlen $n = 8$ bei 26%, $n = 9$ bei 18%

für Karpide $n = 0-18$

Hauptzahlen $n = 8$ bei 20%, $n = 9$ bei 15%

für Staubblätter $2n = 0-28$

Hauptzahl $n = 8$ in 19%.

S. Mettenianum.

Typische archeogene Blüten (240):

für Blumenblätter und Karpide $n = 10-18$

für Staubblätter $2n = 20-36$

Hauptzahl $n = 13$ in 40%.

Neogene Blüten (500):

für Blumenblätter $n = 0-24$

Hauptzahlen $n = 9$ in 18%, $n = 10$ in 17%

für Karpide $n = 0-24$

Hauptzahlen $n = 9$ in 18,6%, $n = 10$ in 18,8%

für Staubblätter $2n = 0-38$

Hauptzahlen $n = 9$ in 12%, $n = 10$ in 9%.

S. albidum.

Typische archeogene Blüten (276):

für Blumenblätter und Karpide $n = 10-15$ für Staubblätter $2n = 20-30$.Hauptzahl $n = 13$ in 39 %.

Neogene Blüten (276):

für Blumenblätter $n = 0-15$ Hauptzahlen $n = 10$ in 23 %, $n = 11$ in 25 %für Karpide $n = 0-15$ Hauptzahlen $n = 10$ in 26,8 %, $n = 11$ in 27 %für Staubblätter $2n = 10-31$ Hauptzahlen $n = 10$ in 21 %, $n = 11$ in 21,7 %.*S. Moggridgei.*

Typische archeogene Blüten (222):

für Blumenblätter und Karpide $n = 9-12$ für Staubblätter $2n = 18-24$ Hauptzahl $n = 11$ in 60 %.

Neogene Blüten (66):

für Blumenblätter $n = 1-13$ Hauptzahlen $n = 9$ in 22,7 %, $n = 11$ in 18 %für Karpide $n = 4-17$ Hauptzahlen $n = 8, 9, 10$ in ca. 15 %, $n = 11$ in 18 %.für Staubblätter $2n = 6-26$ Hauptzahlen $n = 9$ in 18 %, $n = 11$ in 15 %.

In den neogenen Blüten aller 4 Species sind die Grenzen der Variation von n für die drei Blütenorgane ausgedehnt, vor allem nach unten; bei *Funkii* und *Mettenianum* sind die Grenzen auch nach oben erweitert. Die einzelnen Gliederkreise variieren vielfach unabhängig von einander, es tritt viel weniger deutlich als bei den archeogenen Blüten ein Durchschnittswert als Hauptzahl hervor. Immer liegen die Hauptzahlen für alle drei Gliederkreise deutlich tiefer wie bei den archeogenen Blüten.

2. Änderungen der Verhältnisse der Glieder.

Das typische Verhältnis ist: Blumenblätter, Karpide gleichzählig, Staubblätter doppelt so viel. Auch unter den archehenen Blüten finden sich einige Abweichungen, die aber bei den neogenen außerordentlich gesteigert sind.

Tabelle XIV.

Abweichungen vom Verhältnis der Glieder bei archehenen und neogenen Blüten.

Species	Archehene Blüten			Neogene Blüten		
	Zahl der Blüten	Zahl der abweichenden Blüten	auf 100	Zahl der Blüten	Zahl der abweichenden Blüten	auf 100
<i>Funkii</i> . . .	750	119	16	468	381	81
<i>Mettenianum</i> .	240	53	22	500	429	86
<i>albidum</i> . . .	276	11	4	276	172	62
<i>Moggridgei</i> . .	222	7	3	66	47	71

Bei den archehenen Blüten handelt es sich bei den Abweichungen vom typischen Verhältnis um ein Mehr oder Minder von 1—2 Organen, wie Staubblätter und Karpide. Bei den neogenen Blüten erreichen die Abweichungen sehr hohe Werte, was besonders dann auffallend hervortritt, wenn einer der Gliederkreise fast oder ganz ausgefallen ist.

Mit Berücksichtigung der Abweichungen vom typischen Verhältnis wie von den typischen Grenzzahlen der archehenen Blüten ergibt sich für die neogenen Blüten

von *Funkii* Gesamtabweichung bei 94,4 % der Fälle
 „ *Mettenianum* „ „ 92,2 % „ „
 „ *albidum* „ „ 64,5 % „ „
 „ *Moggridgei* „ „ 77,2 % „ „

3. Änderungen der Stellung.

Bei den typischen Blüten alternieren die Blumenblätter mit den Kelchblättern; es folgt der den ersteren opponierte epipetale Staubblattkreis; damit alterniert der innere episepale Staubblattkreis, und mit diesem alterniert der Karpidenkreis. Kleine Verschiebungen können bei den typischen Blüten durch kleine Änderungen der Gliederzahl hervortreten. Unter den archegenen Blüten, z. B. von *Funkii*, gab es mit Ausschluss des nicht berücksichtigten Kelches im ganzen

40 verschiedene Zahlenkombinationen der 3 Hauptorgane, neben den 8 typischen ($n = 9-16$) noch 32 andere Blütenformen, je nach der Abweichung in den Zahlen der Organe, die übrigens deutliche Stellungsänderungen kaum darboten. Unter den 468 neogenen Blüten von *Funkii* zählte ich dagegen

300 verschiedene Zahlenkombinationen.

Die oft sehr beträchtlichen Abweichungen in den Zahlen der aufeinanderfolgenden Glieder waren mit starken Stellungsänderungen verbunden. Die Alternation resp. Opposition ist oft verändert und ins Gegenteil verkehrt. In stark veränderten Blüten können die Organe fast regellos durcheinander geworfen sein.

4. Verwachsungen:

a) Verwachsungen von 2 Blüten (Synanthie).

Sie wurde bereits früher bei *Funkii* (1903/04), ebenso neuerdings gelegentlich beobachtet und zeigte sich bei *Mettenianum* bei allen Versuchsexemplaren in einzelnen Fällen. Man sah verschiedene Grade der Verwachsung. Am deutlichsten tritt der Vorgang hervor, wenn die Stiele und der Kelch bei 2 Blüten zu einem Ganzen vereinigt sind, während die übrigen Organe noch getrennt sind oder wenn auch die Blumenblätter zu einem allerdings unregelmäßigen Wirtel verbunden sind, während Staubblätter und Karpide 2 gesonderte Gruppen bilden. Schliesslich kann sich die Sonderung nur noch auf die Karpide beschränken. Eine völlige Verwachsung läßt sich schwer von grossen unregelmäßigen Blüten unterscheiden.

b) Verwachsungen einzelner Glieder eines Kreises.

Solche Verwachsungen können bei 2, seltener 3 Kelch-, Blumen- und Staubblättern und Karpiden eintreten. Am leichtesten und bei allen untersuchten Arten nachweisbar ist die Verwachsung zweier Staubblätter teils mit Vereinigung der Filamente, teils auch mit Verschmelzung der Antheren in verschiedenem Grade.

Viel schwieriger liegt die Entscheidung der Frage, ob eine Verwachsung der Glieder zweier verschiedener Kreise vorkommt. Sie ist sehr wahrscheinlich in den seltenen Fällen (*Lunkii*), wo das Blumenblatt mit dem zugehörigen epipetalen Staubblatt verbunden ist; sie kommt bei Staubblättern vor, indem ein äußeres und ein inneres Staubblatt verwachsen schienen (*Mettenianum*). Augenscheinlich können auch Staubblatt und Karpid miteinander verwachsen; nur ist es schwierig, solche Fälle von den Metamorphosen zu trennen.

5. Reduktions-Erscheinungen.

Ein Teil der stärkeren Abweichungen der Gliederzahlen vom Typus beruht auf dem Ausfall einzelner Glieder der verschiedenen Kreise. Von besonderem Interesse sind die Fälle sehr starker Reduktion bis zum völligen Fehlen des ganzen Kreises, andererseits die Reduktion einzelner Teile eines Gliedes.

a) Ausfall von Gliedern.

Ein völliges Verschwinden des Kelches wurde bisher nicht beobachtet, wohl aber bei *Mettenianum* ein Ausfall bis zur Hälfte der Kelchblätter, was manchmal mit starker Anschwellung des Blütenbodens verbunden war.

Ein völliges Verschwinden der Blumenblätter „Apetalie“ oder eine Reduktion bis auf vereinzelte Blätter (zum Teil sicher petaloide Staubblätter) trat bei *Mettenianum* auf; unter 500 neogenen Blüten bei 69 (14%). Die gleiche Apetalie ist früher von mir bei *S. alpinum*, neuerdings mehrfach auch bei *S. albidum* festgestellt worden. Ein Ausfall mehrerer Blumenblätter, wodurch mehr oder minder große Lücken in ihrem Kreise entstehen, fand sich mehrfach bei den untersuchten Arten vor.

Die Staubblätter können in stark veränderten Blüten zum größten Teil verschwinden. Einen regelmässigeren Ausfall eines ganzen Kreises (des epipetalen) beobachtet man bei einem Teil der apetalen Blüten von *Mettenianum*; ferner können beide Staubblattkreise ohne Veränderung der Blumenblätter bei *S. Reginae-Amaliae* ausfallen.

Die Karpide können bei Blüten von *Funkii* und *Mettenianum* ebenfalls fehlen oder bis auf kleine Anlagen verkümmert sein.

b) Reduktion von Gliederteilen.

Diese Reduktionen betreffen das ganze Organ gleichmässig oder vorzugsweise gewisse Teile. Bei den Staubblättern können entweder das Filament oder die Anthere in verschiedenem Grade reduziert erscheinen. Von Interesse sind wesentlich nur diejenigen Reduktionen, die zu einigermaßen charakteristischen Gestaltungen führen. Folgende Veränderungen lassen sich beobachten:

- α) zylindrische oder nadelförmige Kelchblätter,
- β) zylindrische lang bewimperte, rote oder grüne Blumenblätter,
- γ) Staminodien, d. h. Filamente von Staubblättern, die an Stelle der Anthere eine farblose Spitze oder ein weisses resp. rotes Schnäbelchen tragen,
- δ) Staubblätter in Form bewimperter Fäden, rot oder grün, nicht deutlich unterscheidbar von den Formen β,
- ε) Karpide als grüne bis rötlich gefärbte fadenförmige oder schwach keulige solide Fäden.

6. Metamorphosen.

Die Glieder des einen Kreises werden durch solche des anderen ersetzt; meist sind es Zwischenformen von 2, seltener 3 verschiedenen Gliedern.

1. Umwandlungen der Kelchblätter.

- a) in Blumenblätter.

Einzelfälle bei *Mettenianum*.

- b) in Rosettenblätter.

Sowohl bei *Funkii* wie besonders bei *Mettenianum*.

2. Umwandlungen der Blumenblätter.

- a) in Kelchblätter.
b) in Rosettenblätter.

Ebenfalls bei beiden vorhin genannten Arten.

3. Umwandlungen der Staubblätter.

- a) in Kelchblätter.

Seltener Fall bei *Mettenianum*.

- b) in Blumenblätter: Petalodie.

Bei allen Versuchsexemplaren aller Arten der Untergattung *Eusempervivum* beobachtet. Es finden sich alle möglichen Grade von schwachen Anfängen bis zu anscheinend normalen Blumenblättern. Bei den 4 am meisten untersuchten Arten zeigt sich die Petalodie unter den neogenen Blüten:

bei <i>S. Funkii</i>	in 18,6 %	der Fälle
<i>Mettenianum</i>	„ 25,4 %	„ „
<i>albidum</i>	„ 15 %	„ „
<i>Moggridgei</i>	„ 19,7 %	„ „

- c) einerseits in ein Blumenblatt, andererseits in ein Karpid.

Seltener Fall bei *Mettenianum*.

- d) in Karpide.

Bei allen untersuchten Arten beobachtet; nicht scharf von dem entgegengesetzten Vorgang der Karpid-Umwandlung zu trennen; siehe unten.

4. Umwandlungen der Karpide.

- a) in Staubblätter.

Bei den gleichen Arten wie 3d vorkommend. Zieht man beide Vorgänge zusammen, so zeigt sich die Anomalie unter den neogenen Blüten:

von <i>S. Funkii</i>	bei 14,3 %
<i>Mettenianum</i>	„ 20,6 %
<i>albidum</i>	„ 14,8 %
<i>Moggridgei</i>	„ 16,6 %

- b) in Blumenblätter.

Seltener, vielleicht nicht ganz sicherer Fall bei *Funkii* und *Mettenianum*.

7. Knospenbildung.

Bildung kleiner Blüten, bestehend aus wenigen Staubblättern und Karpiden, bisweilen auch Blumenblättern.

a) in den Achseln von Blumenblättern.

Seltene Fälle bei *Funkii* (1903/04 wie 1905).

b) innerhalb eines Karpids.

Seltener Fall bei *Mettenianum*.

8. Durchwachsung.

In dem Zentrum einer Blüte entsteht an einem Stiel eine zweite Blüte.

Seltener Fall bei *Mettenianum*.

Zum richtigen Verständnis der hier zusammengefaßten Beobachtungen muß man sich an zwei wesentliche Tatsachen halten:

1. Bei keiner *Sempervivum*-Art sind außer den karpidartigen Staubblättern bisher andere wesentliche Abweichungen des Blütenbaues beobachtet worden.

2. Bei den zu den Versuchen dienenden Individuen der verschiedenen *Sempervivum*-Arten wiesen die zuerst gebildeten Blüten keine wesentlichen Abweichungen auf.

Die Versuche lehren nun zweifellos: Die Mehrzahl der überhaupt bei den Phanerogamen beobachteten Blütenabweichungen läßt sich an den an und für sich typisch blühenden Individuen durch bestimmte Kulturmethoden künstlich hervorrufen.

Eine auffallende Abweichung, die bisher bei *Sempervivum* nicht beobachtet wurde, ist die laubartige Vergrünung der Staubblätter und Karpide. Aber das will nicht viel bedeuten, weil überhaupt nicht anzunehmen ist, daß die Grenzen der Variation bereits irgendwie erreicht sind; in der spezifischen Struktur der Arten schlummern sicherlich noch viele Möglichkeiten der Formbildung, die noch nicht verwirklicht werden konnten.

Zweiter Abschnitt.

Über Metamorphosen von Infloreszenzen in Laubtriebe.

In meinem Werke über „Willkürliche Entwicklungsänderungen“ (1903, S. 69) habe ich einige Fälle erwähnt, in denen bestimmt gebaute Infloreszenzen zu vegetativen Laubtrieben umgewandelt werden können. Wenn ich hier noch einmal darauf zurückkomme, so geschieht das aus mehreren Gründen. In solchen relativ einfachen Vorgängen tritt deutlich und klar die Abhängigkeit der Gestaltungsprozesse von den äußeren Bedingungen hervor — ein Verhältnis, das bei allen Formbildungen, nur oft sehr verdeckt, zu finden ist. Ferner erwähne ich gerade solche Metamorphosen, weil sie bei einer Species zur Untersuchung der Frage nach der Erblichkeit benutzt worden sind. Diese Frage wird im letzten Abschnitt behandelt werden. Endlich berühren diese Untersuchungen noch einen anderen Punkt, der sich auf die Veränderung der so oft als erblich fixiert bezeichneten, periodischen Lebenserscheinungen bezieht.

Veronica chamaedrys L.

Die Infloreszenzen sind scharf von den vegetativen Trieben unterschieden; sie haben ein begrenztes Wachstum, sind stets unverzweigt, allseitig statt zweireihig behaart. Die Blätter sind ganz kleine, fast schuppenartige Hochblätter; sie stehen nicht dekussiert, sondern in schraubiger Stellung. Dazu kommt die Bildung der Blüte in ihren Achseln (Fig. 19). Trotz aller dieser Differenzen gelingt die Umwandlung solcher Infloreszenzen in Laubtriebe. Seit 1900 habe ich die Versuche in jedem Sommer mit Erfolg ausgeführt, besonders mit Hilfe folgender Methoden:



Fig. 19. *Veronica chamaedrys*.
($\frac{5}{6}$ natürlicher Gröfse.)

Normaler Trieb mit zwei blühenden Infloreszenzen.

1. Triebe mit jungen Infloreszenzanlagen wurden in eine Knopplösung (0,2 oder auch höher bis 1%) oder noch besser in Erde unter eine Glocke als Stecklinge gesetzt. In den ersten Jahren brachte ich die Kultur in ein Licht, das für die Blütenbildung nicht ausreichte. Die Versuche gelangen aber noch besser in dem hellen Gewächshaus des Institutes. — Eine notwendige Bedingung war die Entfernung des Haupttriebes oberhalb der Infloreszenz; es war ferner förderlich, die neu auftretenden seitlichen Laubtriebe zu entfernen.

Mit Hilfe dieser Methode habe ich nicht bloß die wild auf den Wiesen des botanischen Gartens wachsenden Pflanzen zur Verlaubung gebracht, sondern auch ebenso solche Triebe, die von verschiedenen Stellen der Umgebung Halles herstammten. Ich liefs mir auch Pflanzen aus Thüringen kommen; sie zeigten das gleiche Verhalten.

2. In Töpfen kultivierte Pflanzen wurden an einem Südfenster in relativ trockner Luft (40—50% relative Feuchtigkeit) in einem Licht kultiviert, das nicht mehr zu einer irgendwie lebhaften Entfaltung der entstehenden Blütenknospen ausreichte. Das Entfernen des Haupttriebes wie der Seitentriebe war auch hier eine Bedingung für das Gelingen. Unter diesen Umständen wuchsen die Infloreszenzanlagen heran, Blütenknospen bildend; dann ging ein Teil an der Spitze in einen Laubtrieb über (an einer Pflanze bei 7 Infloreszenzen unter 10). Andere Infloreszenzen fuhren aber fort zu wachsen und Blütenknospen zu bilden und erreichten schliesslich ganz ungewöhnliche Längen; ich maß einige von 60—70 cm Länge, während die wild wachsenden Pflanzen im Durchschnitt Infloreszenzen von 10 cm, im Maximum 25 cm erreichen.

In diesen Versuchen trat die Bedeutung des Abschneidens des Haupttriebes besonders deutlich hervor; es war das einzige Mittel, Nahrung zu den jungen Infloreszenzen zu leiten. Ich liefs an den gleichen Pflanzen immer eine Hälfte der Triebe unverändert; die Infloreszenzen entwickelten sich nicht weiter. Unter diesen Bedingungen ist das vegetative Wachstum relativ gefördert, und erst bei einer gewissen Hemmung durch das Abschneiden strömt die von den Wurzeln aufgenommene und die von den Blättern erzeugte Nahrung nach den Infloreszenzen, um sie zu einem Wachstum und auch zu einer vegetativen Umbildung zu bringen.

Eine solche Metamorphose, aber ohne Entfernung der vegetativen Laubknospen, beobachtete ich an 2 Pflanzen, die in Töpfen seit Anfang März 1902 in einem mäßig warmen Gewächshaus standen. Das relativ frühe Austreiben in dem Haus in Verbindung mit feuchter Luft erschien als die äußere Veranlassung. Um zu prüfen, was für die spätere Untersuchung besonders wichtig war, ob hier eine ererbte Eigentümlichkeit vorliege, wurde eine der Pflanzen seit August in ein Mistbeet gesetzt und dann nach tüppiger Entwicklung in ein Gartenbeet mit 9 anderen ebenso behandelten Stöcken verpflanzt, die gleichfalls zu verschiedenen Versuchen über Metamorphose verwendet worden waren. Weder 1903 noch 1904 traten an den zahlreichen Infloreszenzen der 10 Pflanzen Metamorphosen hervor.

Auf eine spezielle Darlegung des in Einzelfällen verschiedenen Überganges von Infloreszenz zum Laubtrieb will ich nicht eingehen. Manchmal ist der Übergang ziemlich plötzlich, in anderen Fällen ganz allmählich, indem die Hochblätter langsam zu Laubblättern werden, die zerstreute Blattstellung nach und nach in die Quirlstellung übergeht, Seitensprossen entstehen, die teils noch Blüten, teils Laubknospen tragen; man vgl. die früheren Figuren 1903, ferner Fig. 20, I.

Andere Veronica-Arten.

Auf gleiche Weise wie bei *chamaedrys* liefs sich die Metamorphose der Infloreszenzen von *V. officinalis* herbeiführen (Fig. 20, II); ferner bei *V. teucrium* allerdings nach zahlreichen Versuchen nur bei einem Exemplar. Bei *V. Beccabunga* erreichte ich relativ leicht das gleiche Resultat, als Pflanzen mit jungen Infloreszenzen im Herbst in das warme Gewächshaus gestellt und die Haupttriebe entfernt wurden (1903, S. 75). Dagegen gelang der Versuch mit *V. Anagallis* nur nach Untertauchen junger Anlagen in Wasser. Man erkennt daraus, wie man für jede einzelne Art die Methode erst ausprobieren muß. Für *V. longifolia* ist die Methode noch nicht gefunden, da alle bisherigen Versuche versagten.

Zuckerrübe.

Zur Untersuchung benutzte ich stets die Wanzlebener Rasse. Die Zuckerrübe gehört zu den typisch zweijährigen Gewächsen; sie zeigt aber in dieser Beziehung weitgehende Abweichungen folgender Art:



Fig. 20. Verlaubte Inflorescenzen.

I. *Veronica chamaedrys*. Trieb seit 25. April 1901 in 1% Knopflösung. gez. 25. Juni 1901 II. *Veronica officinalis*. Trieb seit 8 Mai 1903 in Wasser unter Glocke bei schwachem Licht. Gez. 10. Juni 1903. Beide Figuren $\frac{1}{2}$ natürl. Gr.

1. Die Rübe blüht und fruchtet mehrere Jahre hintereinander.

Strohmer, Briem und Stift (1900) haben den Nachweis für dieses Verhalten geführt. Im Jahre 1893 aus Samen gezogene und normal überwinterte Rüben ließen sich 4 Jahre hintereinander (1894/97) zur Fruchtbildung bringen. Von den 100 Versuchsexemplaren gingen allmählich die meisten zu Grunde, so daß nach 5 Jahren nur 2 Exemplare übrig blieben, die dann auch abstarben.

2. Die Rübe lebt rein vegetativ, ohne überhaupt zum Blühen zu kommen.

Aus der Praxis ist bekannt, daß manche Rüben im 2. Jahre nicht blühen; über die Ursachen der Entstehung dieser sog. „Trotzer“ ist nichts bekannt. Schon früher (1903, S. 134) berichtete ich über Versuche mit *Cochlearia officinalis*, die im Winter warm gehalten, im folgenden Jahre nicht blühte; später (1904, S. 551) erwähnte ich Versuche mit *Digitatis purpurea* und *Beta vulgaris*, die zu dem gleichen Resultat führten. Besonders mit der Zuckerrübe habe ich seit 1901 jeden Winter solche Versuche mit Erfolg durchgeführt. Im Winter durch hohe Temperatur in beständigem Wachstum erhaltene Zuckerrüben kommen im folgenden Jahre nicht zur Bildung einer Infloreszenz.

Den ersten Versuch machte ich Herbst 1901; eine kräftige Rübe des Freilandes wurde in einen Topf verpflanzt und im Oktober in das Warmhaus gestellt. Im Juni 1902 wurde sie wieder in ein Gartenbeet gesetzt, im Herbst im Topf in das Warmhaus. Das Gleiche geschah 1903. Die Fig. 21 gibt das Bild der Rübe im Herbst 1903. Ich hatte während des Winters nicht beachtet, daß der älteste Teil der Rübe zu faulen begann; im Frühjahr 1904 starb sie ab nach fast 3jährigem ununterbrochenem, rein vegetativem Wachstum.

Im Winter 1902 machte ich mit demselben Erfolg den gleichen Versuch, bei dem eine Rübe in das Warmhaus, eine andere in das Instituts-Gewächshaus während des Winters gestellt wurde. Einen größeren Versuch unternahm ich Herbst 1903, indem ich 20 Rüben in das geheizte Victoriahaus brachte. Die Temperatur schwankte in den entscheidenden Monaten Oktober bis Januar zwischen 13° und 22°. Die Feuchtigkeit war im Oktober noch sehr groß, dann aber, seit

Entfernung des Wassers aus allen Behältern, mälsig. Die Pflanzen wuchsen und bildeten neue Blätter; sie hatten zum Teil von Läusen



Fig. 21. Zuckerrübe.

Pflanze aus einer Aussaat Frühjahr 1901 im Oktober des gleichen Jahres in das Warmhaus, im Juni 1902 in das Freiland, Oktober 1902 in einen Topf verpflanzt, der Anfang Januar 1903 wieder in das Warmhaus versetzt wurde. Anfang Juni kam die Pflanze in das Freiland, im Oktober 1903 in das geheizte Victoriahaus. Photographiert 23. November 1903. Im Februar 1904 langsames Absterben von der Wurzel aus. — $4\frac{1}{2}$ mal verkleinert.

zu leiden, so dafs eine Anzahl zu Grunde ging. 11 Rüben blieben gesund; 8 davon wurden im Frühjahr herausgenommen, später im

Juni ins Freiland gesetzt; sie kamen nicht zur Blüte, während die 12 Kontrollrüben, die im Kalthaus standen, ebenso wie solche der früheren Jahre normal sich streckten und blühten. Gleichzeitig stellte ich eine Schale mit 12 relativ kleinen Rüben Ende Oktober in das Victoriahaus, und auch sie blieben im nächsten Jahre vegetativ.

Nun erhob sich die Frage, in welchem Zeitpunkt es sich entscheidet, ob die Rübe im folgenden Sommer blüht oder vegetativ bleibt. Schon im Winter 1902/03 bemerkte ich, daß einzelne Rüben, im Januar in das Warmhaus gestellt, zur Blüte kamen. Am 8. Januar 1904 brachte ich in das Victoriahaus 8 Rüben, die bis dahin kalt, aber vor Frost geschützt gestanden hatten. Von diesen blühten 5 Exemplare im nächsten Sommer, nur 3 blieben vegetativ. Andererseits stellte ich von den 11 seit Oktober im Victoriahaus kultivierten Rüben 3 Anfang Januar in das Kalthaus; 2 kamen zur Blüte, eine blieb vegetativ. Um das Ende des Jahres herum scheint sich daher die Sache zu entscheiden; aber die Höhe der Temperatur, der jeweilige Ernährungszustand der Rüben werden in den Einzelfällen ein verschiedenes Verhalten bedingen.

Im Winter 1904/05 stellte ich 20 Rüben (unter ihnen 10 Trotzer des letzten Versuches) in das Palmenhaus, um die Heizung des Victoriahauses zu sparen. Ich fing den Versuch auch erst am 6. Dezember an. Dieser relativ späte Termin, die nicht sehr hohe Temperatur des sehr großen Palmenhauses (10—16°) bewirkten, daß sämtliche Rüben im Sommer 1905 zur Blüte kamen.

Zur wesentlichen Stütze für die Resultate mit der Rübe können die entsprechenden Versuche dienen mit *Digitalis purpurea*, *Scorzonera hispanica*, *Salvia sclarea*, *Verbascum thapsus* und *phoeniceum*, *Arabis hirsuta* und *rosea*, alles typisch 2jährige Gewächse, die durch den Einfluß der hohen Temperatur während des Winters nicht mehr imstande sind, im folgenden Sommer zu blühen.

3. Die Rübenpflanze blüht und fruchtet innerhalb eines Jahres nach der Aussaat.

Die aus der Praxis sehr bekannte Erscheinung, daß Zuckerrüben im ersten Jahre blühen, ist vielfach untersucht worden, am ausführlichsten von Rimpau (1876 und 1880); man vgl. auch die

eingehende Behandlung der Frage bei de Vries 1901, S. 616 und Fruhwirth 1904, S. 72. Rimpau gelang es durch Fortzucht von 1jährig gereiften Samen in der 4. Generation schon eine Rübe zu erzielen, welche bei Bestellung am 31. März völlig 1jährig und in der 5. Generation bei Bestellung am 5. April fast ebenso konstant 1jährig war, wie die gleichzeitig bestellte normale Rübe 2jährig.

Auf der anderen Seite ist zweifellos die Einjährigkeit eine Folge äußerer Einflüsse. Einjährig zu sein ist eine allgemeine Potenz 2jähriger Gewächse; es erscheint unnötig, von Rückschlag oder Atavismus zu sprechen. Je nach den Bedingungen, unter denen die Früchte entstanden sind, finden sich unter ihnen verschiedene Grade einer inneren Disposition. Aber selbst wenn wir Früchte mit gar keiner Disposition für die Einjährigkeit hätten, müßte es möglich sein, die Potenz dafür doch zur Verwirklichung zu bringen.

Von äußeren Einflüssen, die die Einjährigkeit herbeiführen, sind sehr verschiedenartige genannt worden (Fruhwirth 1904, S. 72). Am richtigsten drückt sich wohl Rimpau aus, wenn er sagt (1880, S. 194), „dafs jedwede Verlangsamung oder Unterbrechung des Wachstums, sei es während der Keimung oder gleich nach dem Aufgange oder in späteren Entwicklungsstadien der Pflanze, den Samentrieb im ersten Vegetationsjahre begünstigt“. Unter den das Wachstum eine Zeit lang hemmenden Einflüssen, die dadurch die inneren Bedingungen der Blütenbildung herbeiführen, erscheint von besonderer Bedeutung die frühe Aussaat (Rimpau 1880, S. 192). Ich will einige Beobachtungen anführen, die zur Bestätigung dienen.

Am 10. November 1903 säte ich Früchte der Wanzlebener Rasse in einen Kasten aus, der mit Glas und während der Frostzeit mit Deckladen bedeckt war. Bei großer Dichtsaat waren im Frühjahr 1904 die einzelnen Keimlinge klein und kümmerlich; die Mehrzahl aber begann sich zu strecken und ging später zu einem allerdings ärmlichen Blüten über. Unter 596 Exemplaren waren 445 gestreckt d. h. 74%. Am 8. Oktober hatte ich die Früchte eines 1jährigen Exemplars in großer Schale ausgesät und im Erdkasten überwintert. Auch hier bei dieser Dichtsaat zahlreiche Streckung im nächsten Jahre; unter 147 Exemplaren 109 d. h. 74%.

Von der gleichen Rasse wurde in einem gleichen Kasten eine Dichtsaat am 7. April 1904 gemacht; im Herbst waren von 450 Exemplaren nur 4 gestreckt d. h. noch nicht 1%.

Schon diese Tatsachen zeigen, daß gute Ernährung für das frühzeitige Blühen der Zuckerrübe gar nicht notwendig erscheint, während sie in anderen Fällen nach den Versuchen von de Vries (1901, S. 626) die Anomalie sehr begünstigt. Auch aus weiteren Versuchen ging die Unwirksamkeit der guten Ernährung hervor. Im März 1903 gekeimte Pflanzen wurden Anfang Mai in ein langes Beet gesetzt, das in 5 Felder, je etwa 1 □ m Oberfläche groß, geteilt war. Das eine Feld enthielt nur gute Gartenerde, das zweite wurde außerdem mit Chilisalpeter, das dritte mit Kainit, das vierte mit Maerckerschem Dünger, das fünfte mit Kainit und Chilisalpeter bestreut. Die Rüben entwickelten sich auf den stark gedüngten Feldern außerordentlich; von 75 Exemplaren kamen nur 7 zum Blühen, je 1 oder 2 auf jedem Feld. Von der Aussaat am 7. April 1904 wurden wieder 50 junge Rüben in ein sehr gut gedüngtes Beet gepflanzt; nur eine einzige blühte im Sommer. Die Versuche, relativ spät ausgesäte (April) Pflanzen in überwiegender Menge zum Blühen zu bringen, sind noch nicht gelungen.

Die Versuche mit der Zuckerrübe waren besonders angestellt worden um Material zu erhalten, das für die Umwandlung der Infloreszenz in Laubtriebe geeignet war. Ich dachte dies durch Ernährungsschwächung herbeizuführen; ich stellte kräftige vorjährige Rüben 1904 und 1905 in ein rotes Glashaus, ferner in ein feuchtes, im Schatten stehendes Häuschen, oder ich pflanzte sie im Schatten ein. Die Verzweigung der Infloreszenzachse war unter solchen Umständen sehr vermindert, ebenso die Zahl der Blütenknäuel, aber wesentliche Änderungen traten nicht hervor. Andere Rüben wurden seit Anfang März in das gut gedüngte feuchte helle Warmbeet gepflanzt, seit Juni dann ins Freie gesetzt. An den mächtigen, tüppig blühenden Exemplaren traten deutliche Zeichen vegetativer Umbildung hervor, indem am unteren Teil des Stengels größere Laubblätter und in ihren Achseln einzelne Seitenrosetten saßen. Noch stärker war diese vegetative Entwicklung bei 2 Exemplaren, die seit Oktober 1903 in das Warmbeet eingepflanzt wurden, das während des Winters eine Bodentemperatur von 10—13°,

vom Februar ab eine solche von 15—20° hatte. Im Sommer wurden die stark geschossenen Rüben ins Freie gesetzt. Der untere bis mittlere Teil der oben blühenden Infloreszenz war dicht mit Seitenrosetten



Fig. 22. Zuckerrübe.

Die Infloreszenzachsen in Stengel mit Rosetten umgewandelt.

Pflanze aus einer Aussaat vom 8. Oktober 1903 in einer Schale kalt überwintert, im Frühjahr sich streckend, am 22. Juni 1904 in das Warmbeet gesetzt; am 23. November 1904 photographiert, nachdem 2 basale längere Zweige abgeschnitten waren. Die Stengel mit typischen Laubblättern besetzt.

bedeckt; von der Basis ging ein schopfig beblätterter, nicht blühender Trieb aus.

Bei diesen Versuchen waren die im letzten Sommer herangewachsenen Rüben sehr nährstoffreich. Ich vermutete, daß die Umbildung leichter vor sich gehen werde bei den sehr bald nach der



Fig. 23. Zuckerrübe.

Metamorphose der verzweigten Infloreszenz in vegetative Laubtriebe.

Pflanze aus der Aussaat vom März 1903 in den Anfängen der Streckung
6. Juli 1904 in das Warmbeet gepflanzt. Im Oktober 1904 wurde die
Pflanze im Topf in das Victoriahaus gesetzt, wo die größeren derberen
Sommerblätter durch schmalere zartere ersetzt wurden. Photographiert
23. November 1904. — ca. 10 mal verkleinert.

Keimung zur Streckung übergehenden Pflanzen. Ich benutzte die nach der Aussaat am 10. November 1903 im April sich streckenden Pflanzen, die bei ihrer Jugend und bei der Dichtsaat sehr schwächlich waren und noch keine merkbare Verdickung ihrer Wurzeln zeigten. Ich benutzte sie zu zweierlei Versuchen:

1. Die wachsenden Hauptachsen, 10—20 cm lang, wurden als Stecklinge in das Warmbeet am 26. Mai 1904 gesetzt.

Von 8 Stecklingen wuchsen 5 an, indem sie an der unteren Schnittfläche zarte verzweigte Wurzeln bildeten. Dann wuchsen die Stängel weiter und gingen schließlichs zur Bildung einer reich verzweigten Infloreszenz über. Aber aus dem mittleren Teile des Stengels entwickelten sich Seitenzweige, die nach der Bildung von Blütenknäueln am Ende eine vegetative Rosette erzeugten, demnach „verlaubten“.

2. Die sich eben streckenden Keimlinge wurden direkt in das Warmbeet gesetzt.

4 solcher Pflanzen, entstammend der Aussaat vom 8. Oktober 1903, wurden am 22. Juni 1904 in das Warmbeet gesetzt. Hier trat sofort ein lebhaftes Wachstum in dem gut gedüngten feuchten Boden ein. 2 Exemplare hörten mit der Streckung auf und bildeten eine mächtige Blattrosette an ihrem Ende. Das 3. Exemplar bildete eine verzweigte Infloreszenz, von der aber der grössere Teil der Seitenzweige entweder rein vegetativ war oder zuerst Blüten, dann am Ende je eine Blattrosette erzeugte. Das 4. Exemplar (Fig. 22) hatte sich frühzeitig stark verzweigt; alle Zweige waren rein vegetativ und endigten mit Rosetten.

Die völlige vegetative Umgestaltung der sonst blühenden Infloreszenzachse trat auch bei einem anderen in Streckung begriffenen Exemplar (Aussaat März 1903) ein, welches am 6. Juli in das Warmbeet gesetzt wurde. Anfangs traten einige Seitenzweige auf mit Blütenanlage, dann aber erfolgte ausschließlichs vegetatives Wachstum. Die Achse wurde etwa 1 m lang, verzweigte sich, und Hauptachse wie sämtliche Seitenachsen trugen Rosetten; die Pflanzen wurden erst photographiert, nachdem sie im Victoriahaus neue schmälere Blätter als im Sommer gebildet hatten (Fig. 23).

Cochlearia officinalis L.

Diese Art gehört gleichfalls zu den typischen 2 jährigen Gewächsen, deren Lebensdauer wie bei *Beta* verlängert oder verkürzt werden kann.



Fig. 24. *Cochlearia officinalis*.

Eine völlig verlaubte Infloreszenz entstanden an einer Pflanze, die nach Aussaat am 6. März 1903 Anfang Mai in ein stark gedüngtes Gartenbeet versetzt worden war.

Durch Bildung von Seitenrosetten vermag sie zu perennieren, wie schon Hildebrand hervorhebt. Wie bei *Beta* läßt sich eine Rosette in ununterbrochenem vegetativem Wachstum mehrere Jahre erhalten (Klebs 1903, S. 134). Ferner kann man die Blütezeit (typisch die

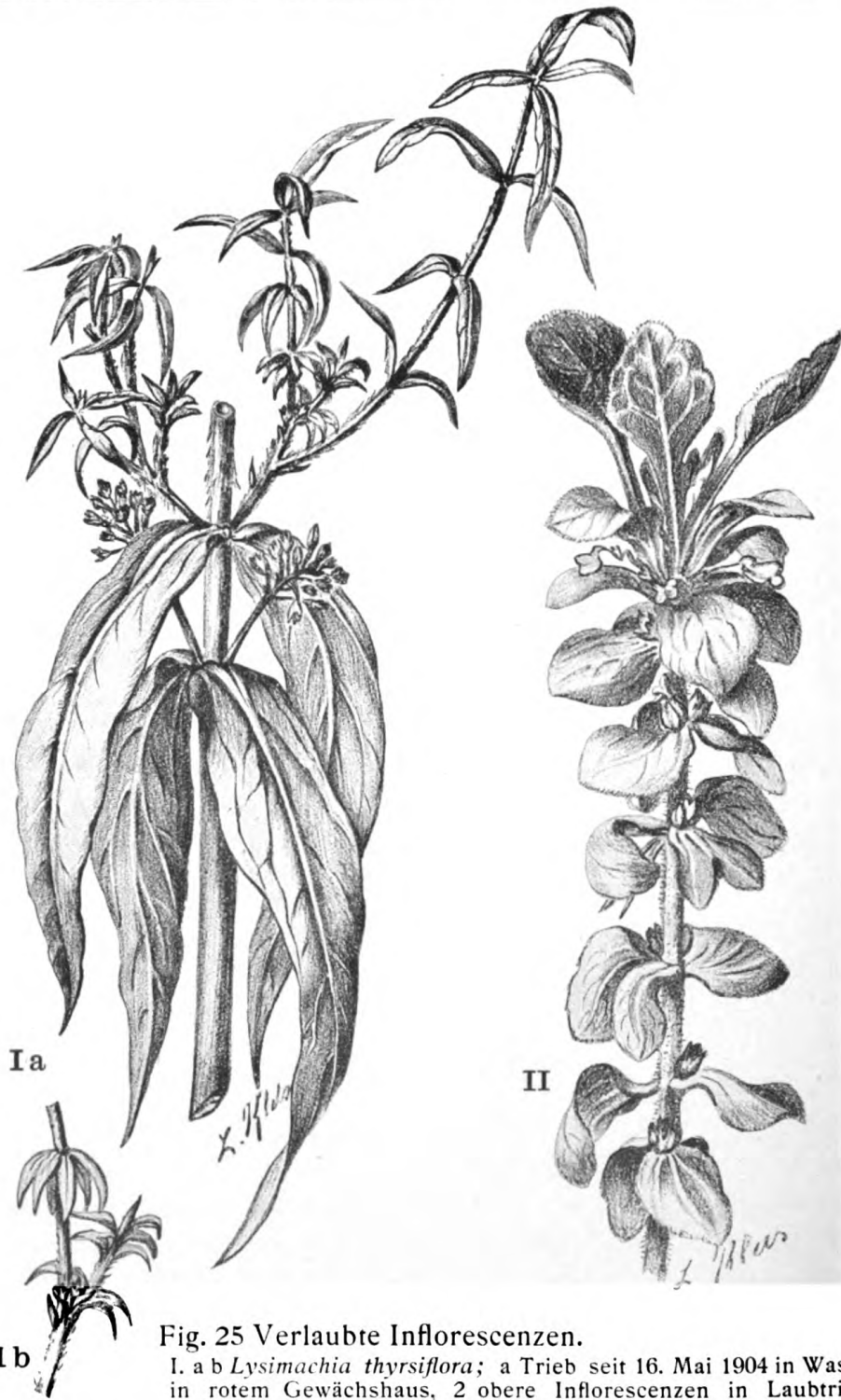
Zeit im Mai bis Juni) ganz verändern, wie in einem früher erwähnten Versuch (1903, S. 79), bei dem nach Aussaat im Herbst die Pflanzen erst im August zur Blüte kamen. Neuerdings gelang es mir, die Art bereits im ersten Jahre zur Infloreszenzbildung zu veranlassen.

Bei den Exemplaren, die 1902 im August blühten, trat eine lebhaftere Bildung von Blattknospen an Stelle von Blüten in der Infloreszenz hervor. Viel auffallender war die vegetative Umbildung der gestreckten Infloreszenzachse in dem folgenden Versuch:

Am 6. März 1903 im Mistbeet ausgesäte Samen lieferten Keimlinge, die Anfang Mai auf ein Gartenbeet ausgepflanzt wurden, das genau wie bei dem vorhin erwähnten Versuch mit der Zuckerrübe in 5 Felder geteilt und in der dort angegebenen Weise gedüngt war (s. S. 75). Die Pflanzen entwickelten sich in aufsergewöhnlicher Üppigkeit. Mitten im Hochsommer, im Juli, begannen die meisten Exemplare zu blühen, wobei besonders die Hauptrosette oder überhaupt die Mehrzahl der Seitenrosetten zur Bildung der Infloreszenzachse überging. Das Merkwürdigste zeigte sich in den mannigfachen Umbildungen der gestreckten Achse zum vegetativen Stengel. Es gab alle Grade von typischen Infloreszenzen bis zu solchen, die mehr oder weniger neben Blüten Blattknospen besaßen, und solchen, die nur Laubblätter und Laubknospen erzeugten (Fig. 24). Diejenigen Pflanzen oder diejenigen Seitenrosetten, die nicht zur Streckung kamen, blühten im nächsten Jahre zur normalen Zeit im Frühjahr, ohne Spur einer vegetativen Umbildung. Es handelte sich hier um eine rein individuelle Variation, die durch die besonderen Ernährungsbedingungen hervorgerufen worden war.

Ajuga reptans L.

In meiner früheren Arbeit wurde die vegetative Metamorphose der Infloreszenz von *Ajuga* beschrieben (1903, S. 47). Der Versuch mit jungen Blütentrieben, die als Stecklinge in Nährlösung und feuchter Luft kultiviert wurden, gelang nur schwierig. Jedoch beobachtete ich die gleiche Umwandlung ohne Verletzung an Exemplaren, die während des Winters im warmen Gewächshaus des Instituts gehalten wurden. Um die Sache noch einmal zu prüfen, setzte ich Oktober 1902 einige Rosetten, die meiner von einer einzigen Pflanze stammenden Hauptkultur



I a **I b** **II**

Fig. 25 Verlaubte Infloreszenzen.
I. a b *Lysimachia thyrsiflora*; a Trieb seit 16. Mai 1904 in Wasser in rotem Gewächshaus, 2 obere Infloreszenzen in Laubtriebe metamorphosirt, b ein Stück einer solchen Infl. vergrößert.
II. *Ajnaga reptans*; ein Blüentrieb am oberen Ende verlaubt mit Rosette; die Blattstellung anfangs 2zählig dann 3zählig: Ia $\frac{1}{5}$ Ib $\frac{6}{7}$; natürl. Gr. II $\frac{6}{7}$; natürl. Gr.

des Gartens entnommen wurden, in einer Schale in das Instituts-Gewächshaus. Im Winter entwickelten sich die aufrechten, mit Hochblättern besetzten Triebe, die, ohne zur Ausbildung von Blüten zu kommen, an ihrer Spitze Rosetten bildeten. Der gleiche Vorgang trat im folgenden Winter 1903/04 ein, nachdem im Frühjahr die Schale mit Märckerschem Dünger bestreut war. Im Sommer 1904 traten 2 orthotrope Triebe hervor, die beide Blüten entwickelten. Der eine von ihnen bildete wieder eine Blattrosette am Ende (Fig. 25, II); besonders auffallend war aber, daß die Hochblätter, statt Quirle von 2 Blättern, solche von 3 bildeten — eine Erscheinung, die ich vergeblich bei den zahlreichen Blütentrieben der gleichen Mutterpflanze im Garten zu finden suchte.

Ganz abgesehen von der Metamorphose haben wir hier einen ganz sicheren Fall, bei dem infolge der vorhergehenden Bedingungen der Kultur eine plötzliche Änderung eines bei der Species höchst konstanten Merkmals, nämlich der Blattstellung, eingetreten ist. Es handelte sich dabei um eine rein individuelle Variation. Die Endrosette dieses Triebes wurde für sich allein weiter kultiviert; im Sommer 1905 entstand eine kräftige Pflanze, die im Frühjahr 1906 zur Blüte gelangte. Nicht bloß alle vegetativen Teile, auch die 14 Blütentriebe zeigten typische Beblätterung.

Lysimachia thyrsiflora L.

Die vegetative Umbildung eines blühenden Stengels von *Lysimachia ciliata* wurde früher beschrieben (1903, S. 80). Der blühende Teil bei dieser Art geht ganz allmählich aus dem vegetativen basalen Teil des Stengels hervor. Nimmt man die Triebe vor dem Aufblühen als Stecklinge und pflanzt sie in gute Gartenerde bei feuchter Luft, so verlängert sich die Achse nach der Entfaltung der seitlich entstehenden Blüten resp. kleinen Blütenstände und wird zu einem vegetativen Stengel. Wie ich mich 1905 von neuem überzeugt habe, ist damit stets eine Änderung der Blattstellung verbunden. Statt der 4 bis 5 blättrigen Quirle der Blütenregion sieht man zuerst 3 blättrige, dann 2 blättrige Quirle, die sich in einzeln stehende Blätter auflösen können.

Viel schärfer differenziert sind die Blütenstände bei der einheimischen Sumpfpflanze *Lysimachia thyrsiflora*. In der mittleren

Region des Stengels entstehen sie als Seitentriebe von eng begrenztem Wachstum, mit ganz kleinen Hochblättchen besetzt, in deren Achseln die Blüten sitzen. Meine Versuche, diese Infloreszenzen zur Metamorphose zu bringen, mißlangen in den Jahren 1902/04. Erst 1905 gelang der Versuch. Stengel mit eben sichtbaren Infloreszenzanlagen wurden einfach in Wasser gestellt und in Häuschen aus weißem, rotem und blauem Glas gebracht. Der Haupttrieb oberhalb der Infloreszenzen wurde entfernt.

Im blauen Licht entwickelten sich die Infloreszenzanlagen nicht weiter, im weißen Licht entfalteten sich normal die Blüten. Auch im roten Licht fand eine gewisse Blütenbildung bei den älteren Anlagen noch statt. Bei 2 Infloreszenzen eines Triebes erfolgte dann die Metamorphose (Fig. 25, Ia, b). Die Enden von ihnen waren mit kleineren Laubblättchen besetzt; außerdem war eine Verzweigung eingetreten. Die Zweige waren teils von vornherein vegetativ, teils anfangs mit quirlförmig angeordneten Hochblättern oder auch einzelnen Blütenknospen besetzt und gingen allmählich mit bisweilen unregelmäßiger Blattstellung in vegetative Triebe über.

Rumex acetosa L.

Die Untersuchungen dieser perennierenden Pflanze waren zunächst dazu bestimmt, die Abhängigkeit der Blütezeit von der Außenwelt festzustellen; allerdings hoffte ich dabei, Veränderungen der Infloreszenzen herbeizuführen. Seit Herbst 1901 stellte ich jedes Jahr einige Pflanzen, die auf den Wiesen des Gartens wild wachsen, in das Instituts-Gewächshaus. Die Pflanzen wuchsen den ganzen Winter und kamen dann im folgenden Sommer nicht zur Entwicklung der Infloreszenzen. Sie gelangten auch nicht dazu, wenn die Töpfe im April ins Freie gestellt wurden. Wie bei der Zuckerrübe suchte ich die Zeit zu bestimmen, von der ab die höhere Temperatur das Blühen nicht mehr verhindern konnte. In den ersten Tagen des Januar aus dem Freien in das Gewächshaus gebrachte Pflanzen verhielten sich wie die seit Herbst darin kultivierten. Vom Februar ab kultivierte entwickelten ihre Blütenstände und zwar in wenigen Wochen. Indessen liefs sich sicher nachweisen, daß die vorhergehenden Bedingungen von wesentlichem Einfluß auf das Verhalten sind. Eine im Sommer 1904

in gedüngter Gartenerde kultivierte sehr kräftige Pflanze bildete, Anfang Januar 1905 ins Gewächshaus gebracht, hier im Februar eine Menge Infloreszenzen.



Fig. 26. Verlaubte Infloreszenz von *Rumex acetosa*.

Pflanze aus dem Freien in einen Topf am 27. Januar 1905 in das Gewächshaus gestellt; Bildung einiger weiblicher Infloreszenzen im März; am 1. Mai 1905 in ein gut gedüngtes Gartenbeet versetzt; im Juli 1905 verlaubte Infloreszenzen. Die Figur stellt einen Seitentrieb vor, der zunächst Blüten bildete, dann in einen Laubtrieb überging. Gezeichnet 9. Juli 1905. — Natürliche Größe.

In dieser Zeit hatte ich 3 Freilandpflanzen in Töpfen in das Gewächshaus gestellt.

Pflanze A am 6. Januar.

Keine Entwicklung von Infloreszenzen.

Pflanze B am 27. Januar.

Einige Infloreszenzen im März; weiblich.

Pflanze C am 4. Februar.

Ebenfalls Infloreszenzen im März; männlich.

Diese Pflanzen wurden im Mai 1905 in sehr gut gedüngtes Gartenland versetzt; sie wuchsen zu überaus kräftigen Büschen heran. Die weibliche Pflanze B entwickelte im Juli 3 Infloreszenzen, von denen 2 die vegetative Metamorphose zeigten. Die Hauptachse wie sämtliche Seitenzweige endigten mit typischen Laubblattrosetten; aber eine Anzahl der Seitentriebe hatte vorher weibliche Blüten gebildet, die sogar Früchte, wenn auch nicht bis zur Reife, erzeugten, obwohl es anscheinend zu dieser Zeit keine männlichen Exemplare gab (Fig. 26). Alle 3 Pflanzen wurden dann Anfang Januar 1906 wieder in das warme Gewächshaus gebracht; alle entwickelten nach 10 Tagen bereits eine Menge Infloreszenzen. Es fanden sich normale weibliche resp. männliche Blüten neben vielen anderen, die vor der Entfaltung verkümmerten. Die Verlaubung war auch hier eine rein individuelle Variation gewesen.

Die im vorhergehenden gegebenen Resultate, die sich auf Pflanzen ganz verschiedener systematischer Stellung beziehen, liefern den Nachweis für die vegetative Metamorphose der Infloreszenzen, zugleich für weitgehende Änderungen der Lebensdauer, der Blütezeit — alles Merkmale, die unter den gewöhnlichen Bedingungen des natürlichen Standorts als fest fixiert erscheinen. So gewähren die Untersuchungen neue Stützen für die von mir vertretene Anschauung, daß alle anscheinend noch so fest vererbten Eigenschaften einer Species innerhalb gewisser Grenzen verändert werden können. Eigentlich müssen sie alle veränderlich sein, weil jedes Merkmal das notwendige Produkt von vorauszusetzenden spezifischen Fähigkeiten und der wechselnden Außenwelt ist. Über den Grad und den Umfang der Variation jedes Merkmals, über die Bedingungen, die sie bewirken, können aber nur die Versuche selbst entscheiden.

Dritter Abschnitt.

Über die Ursachen der Blüten-Anomalien.

Die stärkeren formalen Abweichungen von dem in der freien Natur beobachteten Typus einer Species werden als Anomalien oder Mißbildungen oder Monstrositäten oder teratologische Erscheinungen bezeichnet; sie gehören als relativ auffallende Bildungen den allgemeinen Variationen an. Schon frühe regte sich das Bedürfnis, neben genauen Beschreibungen ihr Entstehen zu erklären. Aber diese Erklärungen liefen darauf hinaus irgend eine der verschiedenen Möglichkeiten ohne experimentelle Grundlage als Ursache hervorzuheben. Die ganze Schwierigkeit des vorliegenden Problems ergibt sich aus der Erkenntnis, daß es nur einen Teil des allgemeinen Problems der Formbildung umfaßt. Aber mit Recht haben Sachs (1880, II, S. 1174) Goebel (1898, S. 173) u. a. hervorgehoben, daß gerade die teratologischen Erscheinungen ein sehr günstiges Material für die Erforschung des allgemeinen Formproblems liefern.

Um die Frage richtig zu formulieren muß man versuchen zunächst eine Scheidung der beobachteten Anomalien vorzunehmen, um dann später wieder das Gemeinsame zu erkennen. Die überwiegende Mehrzahl der beschriebenen Anomalien stammt von Kulturvarietäten ab und erscheint als erblicher Charakter von diesen; stets kehren in der umfangreichen teratologischen Literatur die Rosen-, Nelken-, Primula-, Begonia-Arten u. s. w. wieder. Die wichtigen experimentellen Untersuchungen von de Vries haben überdies deutliche Beweise für die Erblichkeit vieler Anomalien beigebracht.

Zweifellos aber entstehen Anomalien an typisch gebauten Individuen unter dem Einfluß äußerer Bedingungen, Parasiten, Ernährungsverhältnissen und dergl. Die vorliegende Arbeit liefert diesen Beweis für die Mehrzahl der Blütenanomalien, und weiter unten werden die sonst aus der Literatur bekannten Fälle entsprechender Art näher

behandelt werden. Man kann daher von dem Satz ausgehen: Die meisten, wenn nicht alle Anomalien der Blüten oder der vegetativen Organe, können als individuelle Variationen durch den Einfluss der Außenwelt entstehen.

Diesem Satze gemäß erscheint das Problem von den Bedingungen der Anomalien überhaupt experimentell angreifbar, wenn auch eine Lösung in weitester Ferne liegt. Jedenfalls werde ich für die folgende Darstellung von diesem Satze ausgehen, indem ich auf die Frage nach der Erbllichkeit im letzten Abschnitt zurückkomme.

I. Latente Anlage; Disposition.

In dem wichtigen Kapitel der Organographie, das die Anomalien behandelt, spricht sich Goebel dahin aus (1898, S. 158): „Wo äußere Ursachen Mißbildungen hervorrufen, handelt es sich nur um ein Zutagetreten latenter Anlagen.“ Goebel betont dann weiter, daß es latente Anlagen gäbe, die wohl kaum bei den Vorfahren auftraten. Die Bulbillen von *Selaginella* mit sechszeilig angeordneten Blättern sind offenbare Neubildungen, deren Beschaffenheit abhängt von dem Protoplasma der Pflanze einerseits und dem von außen ausgeübten Reiz andererseits. De Vries (I, S. 428) stimmt Goebel völlig bei und drückt sich ähnlich aus: „Die Lehre von den Anomalien wird in erster Linie durch den Satz beherrscht, daß äußere Faktoren sich nur für die Änderung der Pflanzengestalt geltend machen können, wenn die Fähigkeit darauf zu reagieren, d. h. also die innere Anlage bereits vorhanden ist.“

Bei Goebel bleibt der Ausdruck „latente Anlage“ ganz unbestimmt; de Vries dagegen definiert sie schärfer als distinkte materielle Träger, als Pangene. Analysiert man den Begriff etwas genauer, so erkennt man sofort, daß sein wesentlicher Bestandteil gar nicht der Erfahrung entstammt, sondern eine logische Voraussetzung ist, die wir gemäß der Organisation unseres Geistes zu machen genötigt sind. Wenn wir irgend etwas an irgend einem Organismus beobachten, so müssen wir stets die Fähigkeit dazu voraussetzen; wir denken sie uns

anhaftend an die angenommene innere Struktur. Was daher Goebel und de Vries von den Anomalien sagen, ist nichts irgendwie Charakteristisches, sondern etwas Selbstverständliches, das für jedes Geschehen in der toten und lebenden Natur gilt; es handelt sich immer um eine in der Natur eintretende oder künstlich von uns herbeigeführte Verwirklichung voraussetzender Potenzen (vgl. meine Bemerkungen 1905, S. 293).

Man könnte prinzipiell sagen, es gäbe überhaupt nichts Neues in der Natur. Aber es hat wenig Sinn sich auf einen solchen Standpunkt zu stellen, da man völlig berechtigt ist, den Begriff des Neuen konventionell zu bestimmen. Man bezeichnet alle diejenigen Merkmale eines Organismus als „neu“, die nach den bisherigen Erfahrungen in der freien Natur und Kultur nie beobachtet worden sind. Nun wird aber die Entscheidung in zahllosen Einzelfällen schwierig sein, weil es sehr verschiedene Grade der Neuheit gibt. Wenn bei *Sempervivum Funkii* eine 6zählige Blüte in den Versuchen auftritt, so kann man das bereits als neu auffassen, da es nie bisher beobachtet worden ist. Aber der Unterschied gegenüber den typischen Blüten erscheint doch relativ geringfügig, und man wird nur eine kleine Änderung der Bedingungen annehmen. Dagegen, wenn Blüten mit völlig fehlender Blumenkrone, ebenso fehlendem äusserem Staubblattkreis, doch sonst mit normalen Organen bei *S. Mettenianum* erscheinen, so ist das eine höchst auffällige Neuheit, da weder bei *Sempervivum* noch in der ganzen Gruppe der Crassulaceen derartige Blüten bekannt sind. Aus der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, aus der konventionellen Fassung des Begriffs des Neuen ergibt sich ohne weiteres, dass die subjektive Beurteilung in Einzelfällen eine grosse Rolle spielt.

In der Definition, die de Vries von der latenten Anlage einer Anomalie gibt, findet sich noch ein anderer Bestandteil, der weder logisch notwendig noch empirisch begründet erscheint. Das ist die Annahme distinkter Träger für jedes mit unseren heutigen Mitteln unterscheidbare Merkmal. Ich habe in meiner früheren Arbeit (1905, S. 298) die Gründe angeführt, aus welchen diese Annahme keine nähere Einsicht gewähren kann. Denn einmal können wir uns gar nicht vorstellen, dass ein Merkmal, welches durch Zusammenwirken zahlreicher einzelner Faktoren zustande kommt, an einen einheitlichen Träger gebunden

erscheint. Vor allem hilft uns die Annahme nichts, weil die vorausgesetzten Anlagen in ihrem Aktiv- oder Latentwerden nicht selbständig sein können, sondern notwendig abhängen von der jeweiligen Beschaffenheit ihres Mediums, von dem was ich als die variablen inneren Bedingungen auffasse. Dieser entscheidende Faktor wird von den Hypothesen über die „Anlagen“ nicht erklärt, gewöhnlich von ihnen gar nicht beachtet.

Nun hat die Annahme vorgebildeter distinkter Träger in neuerer Zeit anscheinend eine empirische Stütze gefunden, seitdem die Mendelsche Spaltungsregel sich durch so zahlreiche Versuche glänzend bestätigt hat. Alle Forscher, die sich zuletzt darüber geäußert haben, wie de Vries (1903), Correns (1905), Strasburger (1905), Lotsy (1905), ferner die Zoologen Heider (1905) und Ziegler (1905) stimmen wenigstens darin überein, die angenommenen Anlagen in die Kern-Chromosomen resp. in Teile von ihnen zu verlegen. Bei der Spaltung der Merkmale in der 2. Bastardgeneration erfolgt eine Verteilung der Chromosomen mit ihren Anlagen auf die Individuen nach der Mendelschen Regel. Hier interessiert nur die prinzipielle Frage, was eigentlich abgespalten wird. Nach der Auffassung der genannten Forscher wird die ganze Anlage abgespalten; das Merkmal muß völlig verschwinden.

Nach meiner Überzeugung kann die Fähigkeit (Potenz) zu dem Merkmal nicht verschwinden; sie bleibt vorhanden, wenn auch die Verwirklichung vielleicht infolge Änderungen der spezifischen Struktur schwierig werden kann. Verändert in verschiedenem Grade bis zum völligen Verschwinden werden in erster Linie die für die Verwirklichung der Potenzen nötigen inneren Bedingungskomplexe. Wenn nach Bastardierung einer blau- und einer weißblühenden Varietät in der 2. Generation die Spaltung eintritt, so hat nach der Regel von Mendel $\frac{1}{4}$ der Individuen allein das dominierende Merkmal blau, $\frac{1}{4}$ das recessive Merkmal weiß; die andere Hälfte stellt noch eine Bastardform vor, die sich erst in der folgenden Generation weiter spaltet. Nun werden wir doch stets annehmen, daß die blaublütigen Individuen wieder unter Umständen (Bastardierung ausgeschlossen) weiß werden können, ebenso wie die weißblütigen blau. Das erste läßt sich bereits bei manchen Pflanzen erreichen, das zweite wahrscheinlich auch. Man

beruft sich darauf, daß die rein blau- resp. weißblütigen Formen in mehreren Generationen sich konstant erhalten haben. Das beweist aber nichts für die vorliegende Frage, weil noch nie gründlich versucht worden ist, die Variationsbreite solcher Individuen festzustellen.

Noch deutlicher offenbart sich die Unzulänglichkeit der Annahme einer völligen Spaltung in dem von Correns (1904) beschriebenen interessanten Fall von *Hyoscyamus niger*. Correns kreuzte eine 1jährige und eine 2jährige Rasse dieser Pflanze und beobachtete eine typische Mendelsche Spaltung dieser Merkmale in der 2. Generation. Nach manchen Erfahrungen haben die 1jährigen Pflanzen die Fähigkeit, 2jährig zu werden; sicher ist jedenfalls die Fähigkeit der 2jährigen, 1jährig zu werden. Eine Abspaltung dieser Fähigkeit ist gar nicht denkbar; abgespalten können nur gewisse Bedingungskomplexe werden, infolgedessen unter den üblichen Gartenbedingungen die betreffenden Fähigkeiten nicht zur Verwirklichung kommen; unter anderen Umständen kann das sehr wohl geschehen.

Diese Bemerkungen sollen keine Erklärung bedeuten, sondern nur Klarheit schaffen. Wir haben nicht die leiseste Ahnung von den physiologischen Prozessen, die bei der Spaltung tätig sind; aber ich wollte darlegen, daß der übliche Begriff der „latenten Anlage“ unklar ist, weil er neben Richtigem sehr Problematisches einschließt. Für die weitere Betrachtung fällt er ohnehin fort; wenn ich von Anlage spreche, so meine ich stets einen sehr jugendlichen Zustand eines Organs.

Die Potenzen für die mannigfaltigen Anomalien scheinen bei den Phanerogamen sehr allgemein verbreitet zu sein; sie kommen zur Verwirklichung durch besondere Änderungen der inneren Bedingungen infolge äußerer Einflüsse. Aber bei der Entstehung solcher Anomalien beobachtet man sehr häufig, daß Individuen, die anscheinend der gleichen Species angehören, sich so verschieden verhalten. Peyritsch (1878, S. 4), dem auch Goebel (1898, S. 162) zustimmt, spricht in solchen Fällen von einer Prädisposition zur Entwicklung der Anomalien.

Dieser Begriff der Disposition, der auch sonst für ähnliche Erscheinungen verwendet wird, betrifft ein sehr dunkles Gebiet. Man muß versuchen einige der wesentlichen Punkte klar hervorzuheben, und man wird dabei auf 3 besonderes Gewicht legen.

1. Die erblichen Charaktere der Rassen.

Bei beliebigen Individuen einer Linnéschen Species weifs man nicht, wie weit sie der gleichen oder einer verschiedenen Rasse angehören. Die anscheinend individuelle Verschiedenheit kann daher auf einem Rasse-Unterschied beruhen. Für spätere genauere Untersuchungen wird man von einer reinen Rasse ausgehen, d. h. einer Gruppe von Individuen, die von einer einzigen Mutterpflanze durch vegetative Vermehrung oder strenge Selbstbefruchtung herkommen. Durch allmähliche Anzucht mit Hilfe der Rosetten bin ich jetzt im Besitze mehrerer reiner Rassen von *Sempervivum*. Die Versuche mit ihnen 1906 haben im wesentlichen die früheren Resultate bestätigt. Die Rassen-Unterschiede brauchen keine entscheidende Rolle zu spielen, wenn selbst distinkte Linnésche Species innerhalb einer Gattung wie *Sempervivum* die gleichen Anomalien aufweisen. Aber von den Eigenschaften der verschiedenen Species oder Rassen kann es sehr wohl abhängen, ob eine Anomalie bei ihnen leichter oder schwieriger hervorzurufen ist; es kann bei manchen überhaupt noch nicht gelingen, weil die Bedingungen, die Potenz zu verwirklichen, bisher nicht bekannt sind.

2. Individuelle Verschiedenheiten

infolge verschiedener Bedingungen während der Entstehung, sei es des Samens, sei es des vegetativen Keimes.

Alle Erfahrungen der praktischen Pflanzenzucht lehren, dafs Stücke des gleichen Individuums, die zur Vermehrung verwendet werden, sich oft frühzeitig unter anscheinend gleichen Kulturbedingungen verschieden verhalten. Daraus folgt, dafs die einzelnen Orte an einem Individuum verschiedenen Bedingungen ausgesetzt gewesen sind, sei es, dafs eine ungleiche Verteilung der von der Pflanze erzeugten Nährstoffe vorlag, sei es, dafs kleine Ungleichheiten in der Wirkung von Licht, Feuchtigkeit, Wärme u. dergl. mitspielten. Gewöhnlich wird beides zusammen wirken. Das gleiche gilt auch für die Samen, die selbst innerhalb eines Fruchtknotens verschieden grofs und auch verschieden beschaffen sein können.

3. Individuelle Verschiedenheiten infolge verschiedener äußerer Bedingungen während der Entwicklung des Keimes.

Diese Ursache der verschiedenen Reaktionsfähigkeit einzelner Individuen ist vielleicht noch wichtiger als die im Punkt 2 angegebene. Tatsächlich ist es bei längerer Dauer der Kultur nicht möglich, alle die mannigfaltigen Kulturbedingungen für alle Individuen völlig gleichmäßig zu gestalten. Man hat auch vielfach zu wenig Gewicht darauf gelegt in dem Glauben, daß kleinere Differenzen, z. B. in der Beschaffenheit des Bodens, in seinem Wasser- und Nährsalzgehalt, keinen Einfluß haben.

Gehen wir von einer reinen Rasse aus, so ist es heute nicht zu beurteilen, welche von den beiden Ursachen für das Auftreten individueller Unterschiede in einzelnen Fällen entscheidender ist. Beide Momente werden häufig zusammen wirken, die Unterschiede zu verschärfen. Über die tatsächliche Bedeutung dieser Wirkungen kann kein Zweifel für den bestehen, der mit reinen Rassen gearbeitet hat. Ich will aus meinen Erfahrungen nur ein Beispiel anführen.

Ich ging 1903 von einer einzelnen Rosette der Kollektivspecies *S. Funkii* aus, die nur vegetativ durch Tochterrosetten vermehrt wurde. Im Sommer 1904 erhielt ich aus den Nachkommen 98 junge Rosetten, die einzeln in einem gleichmäßig gedüngten Gartenbeet eingepflanzt wurden. Von diesen 98 Rosetten kamen im Sommer 1906, also nach 2jährigem Wachstum, 90 zur Blüte. Nur 8 Individuen blieben trotz der anscheinend sehr gleichmäßigen Bedingungen steril und bildeten neue Rosetten an Stelle von Infloreszenzen. Im Sommer 1905 setzte ich 375 eben entstandene Rosetten in ein ähnlich behandeltes Beet; sie sollen erst 1907 zur Blüte kommen. Aber ein einziges Exemplar blühte bereits 1906, also nach einem Jahre. Nur kleine Differenzen in den Bedingungen können diesen wesentlichen Unterschied im Verhalten herbeigeführt haben.

Wenn nun draussen im Freien oder in der Kultur Anomalien an gewissen Individuen auftreten, an anderen nicht, so fehlt uns jede Möglichkeit der Beurteilung, worauf die verschiedene Disposition beruht.

In methodisch durchgeführten Experimenten muß man erst versuchen, die verschiedenen Quellen individueller Verschiedenheit möglichst einzuengen, wenn es auch nur bis zu einem gewissen Grade gelingen sollte. Meine Erfahrungen an *Sempervivum* ermutigen sehr zu solchem Bestreben. In den 3 Versuchsjahren ist mit jedem Jahre die Zahl und Mannigfaltigkeit der Anomalien bei *S. Funkii* gesteigert worden. Die Versuche mit den größeren Arten, *Mettenianum*, *albidum*, waren 1904 rein negativ, während 1905 die Resultate auffallend gut waren. Das lag sowohl an der gleichmäßigen Vorbehandlung des Versuchsmaterials durch gute Düngung, freie Lage u. s. w., wie auch an der richtigen Behandlung während des Versuches selbst. Kein einziges Individuum, das ich prüfte, hat versagt; die individuelle Launenhaftigkeit war in dieser Beziehung beseitigt. Aber im einzelnen gab es individuelle Verschiedenheiten noch in genügender Menge. Manche Anomalien traten bei dem einen Individuum häufiger auf, als bei anderen, manche zeigten sich nur äußerst selten. Oder eine Anomalie, z. B. die Apetalie, fand sich nur bei einem Teile der Blüten des gleichen Individuums vor.

Jedenfalls wird man sich trotz aller Schwierigkeiten das Ziel setzen, die speziellen Bedingungen für die einzelnen Anomalien schärfer zu erkennen, um sie gleichmäßiger zur Verwirklichung zu bringen und um die Einflüsse unbekannter Disposition mehr und mehr zurückzudrängen.

II. Äußere Bedingungen der Anomalien.

Wenn man die in der Literatur beschriebenen Fälle von Anomalien durchmustert, so findet man mit mehr oder minderem Recht folgende Faktoren als ihre Ursachen angegeben:

1. Parasiten.
2. Verletzungen.
3. Zu starke Ernährung.
4. Zu geringe Ernährung.

Die beiden letzteren Faktoren kann man unter den allgemeinen Begriff der Ernährungsverhältnisse vorläufig zusammenfassen.

1. Anomalien durch Parasiten hervorgerufen.

Die von Pilzen oder Tieren hervorgerufenen Anomalien der Pflanzen stellen einen ganz sicheren Beweis für ihre Entstehung als individuelle Variationen vor. Es ist dabei von großem Interesse festzustellen, wie unter dem Einfluß der Parasiten die mannigfaltigsten Formen der Anomalien auftreten, oft die gleichen, die auch aus anderen äußeren Ursachen entstehen. Indem ich für die Einzelfälle auf die zusammenfassende Darstellung bei Goebel (1898, S. 165) verweise, erinnere ich nur an die von Peyritsch (1888) beobachteten Tatsachen. Nach künstlicher Infektion mit einer *Phytoptus*-Art entstanden bei *Valerianaceen* und *Cruciferen* auffallende Blütenanomalien, wie Petalodie der Staubblätter, doppelte und einfache Blumenkronen, Durchwachsungen, Sproßbildung u. s. w. Nach Infektion mit *Aphis*-Arten trat bei den Blüten von *Arabis*-Arten eine vollständige Vergrünung ein (Peyritsch 1882). Alle möglichen Arten von Blütenanomalien, die teils durch Pilze, teils durch Tiere hervorgerufen werden, sind von Molliard (1895) eingehend beschrieben worden. Viel besprochen sind die von Giard und Mangin (Mangin 1889) beobachteten Fälle, in denen, wie z. B. bei der dioecischen *Lychnis vespertina*, *Ustilago antherarum* die Entstehung von Staubblättern in den sonst rein weiblichen Blüten veranlaßt; vgl. auch die ausführliche Darlegung bei Strasburger (1900).

Die wesentlichste Frage, die uns hier interessiert, auf welche Weise der Parasit so weitgehende Umgestaltungen der Pflanzen bewirkt, ist ungelöst. Da die gleichen Anomalien, sowohl durch Parasiten, wie durch Ernährungsänderungen herbeigeführt werden, so liegt es nahe, auch die Wirkungen der Parasiten auf Ernährungseinflüsse zurückzuführen (s. darüber später). Ein gewisser Unterschied zeigt sich darin, daß man nach den bisherigen Erfahrungen künstlich Anomalien nur durch Änderungen der allgemeinen Ernährungsbedingungen hervorrufen kann, während die Wirkung der Parasiten meistens, wenn auch nicht immer, lokaler Natur ist. Die auffälligsten solcher rein lokaler Wirkungen treten uns in den zahllosen Gallenbildungen entgegen, unter denen die von Küster (1903, S. 210) als Prosoplasmen, d. h. als Neubildungen von besonderem histologischen Charakter, bezeichneten Gebilde das Hauptinteresse in Anspruch nehmen. In den Fällen, wo

eine Verwundung durch das Tier ausgeschlossen ist, müssen allem Anschein nach chemische Stoffe die Gallenbildung hervorrufen; aber es ist bisher nie gelungen, durch künstlich eingepflichte Substanzen von bekannter Zusammensetzung Gallenbildung zu veranlassen (Küster l. c. S. 192). Ebenso wenig sind bisher andere Anomalien auf diesem Wege erzeugt worden.

2. Anomalien infolge von Verletzungen.

In der Literatur finden sich zahlreiche Angaben über die Entstehung von Anomalien nach Verletzungen oder Verwundungen. Seit alter Zeit bekannt sind die Abweichungen vom Bau und auch der Stellung der Blätter bei Stockreisern, d. h. Trieben, die aus den Stümpfen abgehauener Baumstämme hervorgehen (vgl. Goebel 1898, S. 164, Weifs 1899, S. 377); ferner bei Trieben nach Entlaubung durch Maikäfer oder Frühjahrsfrüste (Krasan 1903, S. 166). Besonders auffallend ist das häufige Auftreten von Fasciationen an den Stockreisern; sie sind durch Blaringhem (1905) bei *Fraxinus*, *Acer*, *Robinia*, *Hibiscus* u. a. nachgewiesen worden. Sachs (1859) gelang es bei *Phaseolus multiflorus*, die Fasciation künstlich hervorzurufen, indem er die Hauptachse oberhalb der Cotyledonen abschnitt. Die neu austreibenden Achselsprosse zeigten sich dann vielfach fasciiert. In neuerer Zeit hat Lopriore (1904, S. 304; ferner S. 394) durch Verletzung der Wurzelspitze Verbänderung an den Wurzeln von *Vicia Faba* hervorgerufen.

Anomalien in der Blütenregion sind ebenfalls als Folgen von Verwundungen beschrieben worden. So hat Karl Kraus (1880) durch Entblättern von jungen Pflanzen eine Verlaubung der Hochblätter von *Helianthus annuus* hervorgerufen. Molliard (1903) erwähnt Durchwachsungen von Blüten bei *Senecio jacobaea* und *Matricaria inodora*, die durch den Reiz der Verwundung veranlaßt worden sind.

In neuerer Zeit hat Blaringhem mit grossem Erfolg Versuche angestellt, durch Verletzungen Anomalien hervorzurufen. Seit 1902 hat er bei sehr verschiedenen Pflanzenarten bestimmte Resultate erhalten. Aus seinem zusammenfassenden kurzen Bericht ergibt sich (Februar 1905), daß nach frühzeitiger Entfernung des Hauptstengels krautiger

Pflanzen neue Triebe entstehen, die Anomalien der vegetativen Organe wie der Infloreszenzen darbieten.

Die Versuche Blaringhems erstreckten sich auf 30 Varietäten des Mais, verschiedene Sorten von Gerste und Hafer, auf *Sorghum*, *Coix lacryma*, *Mercurialis perennis* und Hanf. Neben Fasciationen, Torsionen wurde eine Metamorphose männlicher oder steriler Blüten in weibliche oder hermaphrodite beobachtet; ferner eine Vermehrung der Staubgefäße in männlichen Blüten des Mais, der Ährchen bei der Gerste. Für die gleiche Pflanze existieren gewisse Beziehungen zwischen den verschiedenen Anomalien. So zieht die Fasciation der Zweige der terminalen Infloreszenz beim Mais die Entstehung weiblicher Blüten nach sich. In einer weiteren Mitteilung (November 1905) berichtet Blaringhem über ähnliche erfolgreiche Versuche mit *Polygonum Fagopyrum*, *Sinapis alba*, *Heracleum sphondylium* u. s. w.; auch hier entstanden nach Entfernung des Hauptsprosses an den neuen Trieben Anomalien der Blätter und Blüten. Blaringhem faßt seine Resultate in folgendem Satze zusammen: „Les traumatismes violents qui parfois détruisent l'individu, provoquent souvent le développement surabondant de rejets dont tous les organes tiges, feuilles, fleurs et fruits, montrent des déviations considérables du type spécifique et constituent de véritables monstruosités. Grâce aux mutilations on peut mettre la plupart des végétaux dans l'état d'„affollement“ qui est pour les horticulteurs la période de la vie de l'espèce qui fournit les nouvelles variétés.“

Indem ich auf die Frage nach der Erblichkeit, die Blaringhem näher berührt, erst im nächsten Abschnitt zurückkomme, möchte ich hier nur hervorheben, daß die Versuche Blaringhems, die ganz unabhängig angestellt worden sind, meine eigenen Versuche wie die daraus gezogenen Folgerungen aufs beste bestätigen. Ein Unterschied liegt darin, daß Blaringhem, soweit sich aus seinen kurzen Mitteilungen ersehen läßt, hauptsächlich mit Kulturpflanzen gearbeitet hat, bei denen alle möglichen Anomalien mehr oder weniger bekannt sind. Seine Methode gestattet nicht sich sicher davon zu überzeugen, in welchem Grade das zum Versuch benutzte Exemplar bereits Anomalien gehabt hat. Unzweifelhaft ist aber eine starke Vermehrung der Anomalien infolge der Verletzungen aufgetreten; diese haben

gewirkt wie besonders gute Ernährung, und in der Tat läßt sich nach meiner Meinung der Einfluß der Verletzungen darauf zurückführen.

In einem Bericht von Blaringhem (November 1905) über meine letzte *Sempervivum*-Arbeit, in der ich leider seine bis Februar 1905 erschienenen Mitteilungen aus Unkenntnis nicht erwähnt habe, meint dieser Forscher, daß auch bei meinen *Sempervivum*-Versuchen die Verwundung der Hauptsprosse eine Hauptrolle gespielt habe. Er hebt für den Mais hervor: „La section de la tige principale faite peu de temps avant l'apparition de la panicule terminale est une opération qui provoque avec sûreté la métamorphose de fleurs mâles en fleurs hermaphrodites et femelles.“

Schon seit den ersten Versuchen 1900 und weiter hin habe ich mit dem Einfluß von Verwundungen rechnen müssen; meine Anschauungen darüber (1903, S. 109. 113) haben sich im Laufe der späteren Untersuchungen nur bestätigt. Verwundungen können für die Metamorphose von Organen wie für die Regeneration sehr wirksam sein; sie sind aber nicht nötig, wenn man die Bedingungen genügend kennt, und stellen immer nur indirekte Mittel vor (Klebs 1904, S. 612; 1905, S. 261). Im Hinblick auf die Versuche Blaringhems will ich den Einfluß der Verletzungen etwas eingehender behandeln. Nach meinen Untersuchungen lassen sich folgende Tatsachen feststellen:

1. Die Verletzung, besonders die Entfernung der Hauptsprosse ist nicht nötig, um Blütenanomalien hervorzurufen.

In jenen Versuchen 1903/04, in denen Rosettenbildung an der terminalen Infloreszenz von *Sempervivum*, d. h. an völlig unverletzten Pflanzen hervorgerufen wurde, traten mannigfache Blütenanomalien hervor (s. 1905). Aber auch in den anderen Versuchsreihen von 1903 und 1904, in denen die lateralen Blüten an Pflanzen auf Nährlösungen ein sehr reiches Material von Anomalien lieferten, wurde aus bestimmter Absicht keine Verletzung vorgenommen. Die Hauptachse blühte ruhig ab und blieb bis zum Ende des Versuchs erhalten. Ebenso geschah es mit mehreren Versuchsexemplaren, die im Warmbeet kultiviert wurden (l. c. S. 251 Fig. 16). Erst nachdem ich mich klar überzeugt hatte, daß die Entfernung des oberen Teiles der Hauptachse an und

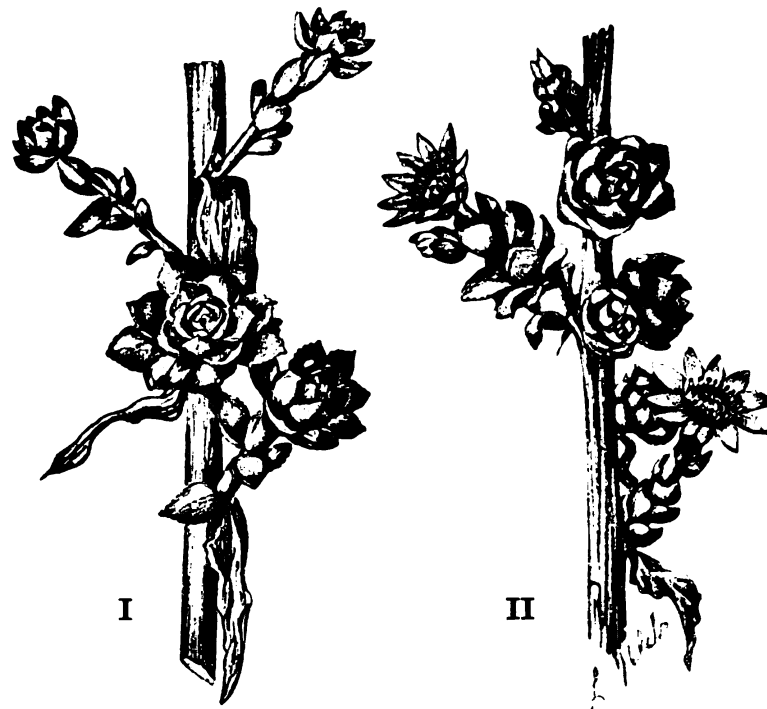


Fig. 27 *Sempervivum Funkii*.

I. Mittlerer Theil der Inflorescenzachse einer Pflanze, die seit 4. März 1905 im roten Gewächshaus sich befand und am 6. Juli hellgestellt wurde; gez. 14. Juli. Aus den Blattachsen Rosetten und 3 schief aufrechte Ausläufer mit je einer Endrosette. II. Mittlerer Theil der Inflorescenzachse einer Pflanze, die sich seit 4. März 1905 im roten Gewächshaus befand und am 15. Mai in gut gedüngte Erde ins Freie versetzt wurde. Neben einigen Rosetten 3 schief aufrechte Ausläufer mit je einer Endblüte. Die beiden Pflanzen entstammten der gleichen Mutterrosette. Natürl. Gr.

für sich nicht notwendig für die Entstehung der Blütenanomalien ist, wandte ich die Methode des Abschneidens nach Beginn der Blütenentfaltung an, um noch mehr Nahrung zu den lateralen Knospen hinzuleiten.

2. Die Verletzung, d. h. die Entfernung der terminalen Infloreszenz hat keine entscheidende Bedeutung für die Art der Neubildungen, die später entstehen.

Unter sonst günstigen Blütenbedingungen: helles Licht, relativ trockne Luft und mälsig feuchter Boden, treten an den Seiten der Infloreszenz, gleich, ob das blühende Ende abgeschnitten oder erhalten wird, stets Blüten auf. Im feuchten Warmbeet zeigt sich besonders am unteren Teil des Stengels Bildung von Rosetten oder Ausläufern. Noch mehr befördert ist ihre Bildung bei Anwendung des roten Lichtes, als eines Faktors, der die Kohlensäure-Assimilation etwas schwächt (vgl. 1905, Fig. 19 S. 256). Im Sommer 1905 wiederholte ich solche Versuche.

4 blühreife Schwesterrosetten wurden am 9. März in das rote Häuschen im Garten (1905, S. 199) gestellt. Anfang Juni entfalteten sich an den terminalen Infloreszenzen einige Blüten. Zwei der Exemplare blieben ruhig im Häuschen und erzeugten am unteren Teil des Stengels Rosetten und Ausläufer. Das 3. Exemplar wurde Anfang Juli hell und feucht gestellt und bildete am ganzen Stengel vegetative Organe, wie Fig. 27, I zeigt. Das 4. Exemplar wurde kurz vor dem Blühen (15. Mai) in ein Gartenbeet gepflanzt. Nach der Entfaltung der Blüten, die lebhafter war als bei den Schwesterpflanzen des roten Hauses, traten am unteren und mittleren Teil der Achse ebenfalls Rosetten und Ausläufer auf, von denen aber die Mehrzahl wieder zum Blühen gelangte (Fig. 27, II). Es genügte also die Steigerung der Assimilationstätigkeit, um diese entgegengesetzte Wirkung hervorzurufen.

Diese Versuche bestätigen die früher gewonnenen Resultate. Die Art der Neubildung hängt von den äußeren Bedingungen ab, die vor dem Blühen der terminalen Infloreszenz wie nach ihrem Blühen wirksam sind. Die Entfernung der Hauptachse kam überhaupt nicht in Betracht.

3. Das Abschneiden der Hauptachse vor der Streckung der Infloreszenz verringert sogar die Zahl der Anomalien.

Bei 3 kurz vor der Streckung der Infloreszenzachse stehenden Rosetten von *S. Funkii* wurden am 15. Mai 1905 die Vegetationspunkte mit den jungen Blütenanlagen entfernt. Der Stumpf der Hauptachse streckte sich nur wenig, zahlreiche laterale Infloreszenzen traten aus den Achseln seiner Blätter wie der Rosettenblätter hervor. Unter den 126 genauer untersuchten Blüten waren 41 vom Typus abweichend, d. h. 32,5 %, also mehr als bei den terminalen Blüten, viel weniger als bei den später entstehenden neogenen Blüten (s. S. 14). Die Abweichungen betrafen besonders das Verhältnis der Gliederzahlen; ferner zeigten sich einige Anomalien, wie Karpid-Antheren, schwach petaloide Staubblätter, Doppelantheren u. dergl. in geringer Zahl.

Die geringe Menge der Anomalien hängt nach meiner Meinung damit zusammen, daß in der blühreifen Rosette kurz vor der Streckung noch die für die Blütenbildung charakteristischen Konzentrationsverhältnisse zu sehr vorherrschen; nach Änderung durch das erste Blühen läßt sich eine noch tiefer gehende Änderung leichter herbeiführen. Bei 1jährigen Pflanzen, wie Blaringhem sie untersucht hat, bewirkt infolge geringer Aufspeicherung der Nahrungsstoffe das Abschneiden, daß die neu entstehenden Triebe sofort ganz anderen Ernährungsverhältnissen unterworfen sind. So wichtig nun für Einzelfälle solche Verwundungen für die Entstehung von Anomalien sind, so sind sie einmal gar nicht nötig; zweitens ist zu betonen, daß, auch wenn sie äußerst günstig wirken, sie es nur deshalb tun, weil durch sie der entscheidende Faktor, die Ernährungsänderung, herbeigeführt wird.

3. Anomalien infolge von Ernährungsveränderungen.

So lange man nicht versuchte, die Anomalien, die als individuelle Variationen auftreten, von denen, die Rassencharaktere sind, zu scheiden, wurden beide Formen bei der Frage nach der Entstehung gemeinsam behandelt. Hauptsächlich interessierte die Bildung der Gartenvarietäten mit besonderen Anomalien, z. B. Füllung der Blüten u. dergl., für deren Entstehung man sehr frühzeitig reichliche Düngung als Ursache angesehen hat. Denn schon zu Zeiten Linnés (1780, S. 79)

mufs diese Annahme verbreitet gewesen sein; eine gefüllte Blume wird von ihm als *flos luxurians* bezeichnet und er erklärt dann: *Oritur luxurians flos plerumque ab alimento luxuriante*. Zahlreiche entsprechende Angaben finden sich auch später wieder; namentlich hat Darwin (1868, II, S. 267) ausdrücklich darauf hingewiesen. Man stützte sich auch auf die Tatsache, daß gefüllt blühende Pflanzen bei schlechter Ernährung einfache Blüten erzeugen (Masters 1886, S. 563; vgl. Goebel 1886, S. 283).

Auf der anderen Seite liegen manche Angaben vor, nach denen gerade ungünstige Ernährungsbedingungen Blütenanomalien hervorrufen. Auf Grund seiner zahlreichen Kulturversuche spricht sich Hoffmann (1887, S. 773) dahin aus „daß durch ungenügende Ernährung bedeutende morphologische Änderungen und zwar qualitative Variationen erworben werden können und zwar zunächst im Sexualapparate der Blüte“. Hoffmann meinte sogar, daß diese Änderungen auf die Nachkommen übertragen werden. Man darf, wie es auch allgemein anerkannt ist, den Versuchen von Hoffmann keine Beweiskraft zuerkennen, weil er vielfach Gartenvarietäten benutzt hat und auch die Resultate im einzelnen sehr auseinander gehen. Doch wäre es möglich, daß in der Tat bei gewissen Pflanzen die Dichtsaat die Entstehung der Anomalien begünstigt. Ein vielleicht sicherer Fall wird von Fritz Müller (1889, S. 348) berichtet. An einem Standort wurden typisch blühende Pflanzen von *Hedychium coronarium* zum großen Teil ausgerodet, die Wurzelstöcke gehäuft und verbrannt. Einige blieben unversehrt und trieben später schwächliche Infloreszenzen, deren Blüten verschiedene Anomalien aufwiesen. Ferner hat Vöchting (1898) bei *Linaria vulgaris* durch den Einfluß schwachen Lichtes Blüten-Anomalien verursachen können. In neuester Zeit hat Mottareale (1904) bei *Solanum melongena*, *Capsicum annuum* und *grossum* nach Einwirkung von Frost zuerst cleistogame Blüten, später solche mit allen möglichen Anomalien beobachtet; z. B. Verbänderung der Karpide, Umwandlung von Staub- in Fruchtblätter, Sprofsbildung, vergrünte Samenknochen. Wenn auch die genannten Kulturformen von vornherein sehr zu Anomalien neigen, so ist doch zweifellos eine auffallende Steigerung von ihnen eingetreten. Es ist allerdings schwer zu beurteilen, wie weit einerseits die Schädigung durch Frost, andererseits die spätere gute Pflege bei der Entstehung von Anomalien mitgewirkt hat.

Am meisten besprochen ist die Frage nach dem Einfluß der Ernährung auf die Füllung der Blüte. In seiner kritischen Besprechung der Versuche zur Lösung der Frage weist Goebel mit Recht auf die große Kompliziertheit des Problems hin und legt die Unzulänglichkeit der bisherigen Versuche dar. Das gilt auch heute in gleicher Weise. Von den älteren Autoren hat Masters (1866; vgl. 1886, Appendix) versucht, die anscheinend widersprechenden Angaben, nach denen sowohl eine zu starke, als auch eine zu schwache Ernährung bei der Füllung der Blüten mitwirken, mit einander zu versöhnen. Nach seiner Meinung beruht die Bildung einer Blüte wie die einer Knospe auf einer Verminderung der vegetativen Tätigkeit. Wenn die Quantität der Nahrung übermächtig ist, reichlicher als die Pflanze eigentlich verbrauchen kann, so wird die vegetative Tätigkeit angehalten und ziemlich so viel, als es der Fall ist, wenn die Pflanze in den entgegengesetzten Zustand der Entkräftung versetzt wird. Der zum Teil eintretende Stillstand der Entfaltung und wohl auch des Wachstums betrachtet Masters (l. c. S. 566) als eine wesentliche Vorbedingung der Füllung der Blüten. Diese Bemerkungen sind nicht sehr klar, sie betreffen auch nicht den Kernpunkt, die Bedeutung der Steigerung der vegetativen Tätigkeit für das Auftreten der Petalodie. Das eigentliche Problem wird aber noch weniger von der Ansicht Darwins (1868, II, S. 164) berührt, nach welcher ungewöhnliche äußere Bedingungen zuerst eine Sterilität der Geschlechtsorgane herbeiführen, die nach dem Prinzip der Kompensation eine Umbildung in Blumenblätter oder eine Neubildung von solchen nach sich zieht. Denn hier wird einfach das was Folge sein kann, als Grund angegeben und die Frage, woher tritt Sterilität ein, bleibt ganz offen.

Die Grund-Voraussetzung für eine Erforschung der Ursachen aller Anomalien besteht in der experimentellen Erzeugung von ihnen an typisch gebauten Individuen, so daß die erblichen Rassencharaktere ausgeschlossen sind. Das ist für *Sempervivum* sicher erreicht, und ebenso sicher ist, daß Änderungen der Ernährung die entscheidende Rolle spielen. Aber das Problem, wie die Anomalien mit solchen Ernährungsänderungen zusammenhängen, ist so kompliziert, daß man sich mit vorläufigen Andeutungen zunächst begnügen muß. Das wird sich aus den weiteren Erörterungen ergeben.

4. Ernährungs-Änderungen als Bedingungen für die Anomalien von *Sempervivum*.

Die Methode, die den höchsten Prozentsatz von veränderten Blüten herbeiführte, bestand in folgendem: vorjährige gute Kultur der Rosetten, im April Kultur in gut gedüngtem feuchtem warmem Boden unter Glas bei hellem Licht, Entfernung des oberen Stücks der terminalen Infloreszenz nach Beginn des Blühens. An der übrigbleibenden Achse oder in den Achseln der Rosettenblätter entstehen dann die Blüten mit Anomalien. Wenn man sich fragt, welchem von den äußeren Faktoren die Hauptrolle zufällt, wird man ihre Wirksamkeit einzeln prüfen, und zwar wird man auf das Vorkommen von Anomalien überhaupt und dann auf die Steigerung nach Art und Zahl zu achten haben.

1. Die vorjährige gute Kultur.

Sie ist an und für sich nicht notwendig. Denn 1903 benutzte ich zu den erfolgreichen Versuchen relativ schlecht kultivierte Individuen. Andererseits wurde bereits hervorgehoben (s. S. 92), wie ungemein förderlich die vorhergehende Ernährung ist.

2. Feuchter Erdboden, feuchte Luft.

Auch sie sind nicht notwendig. Im Jahre 1905 pflanzte ich einige blühende Rosetten von *Funkii* in kleine Töpfe; sie standen außerhalb des Südfensters und waren im Juni und Juli der auffallend heißen Sonne ausgesetzt bei spärlicher Begießung. Trotzdem zeigten sich im Juli unter den neogenen Blüten viele Anomalien. Andererseits wirkt feuchter Boden und feuchte Luft förderlich, die Stengel und Rosettenblätter bleiben dabei viel länger frisch und funktionsfähig.

3. Erwärmung des Bodens im April und Mai. Temperatur zwischen 15 und 22°.

Förderlich für die spätere Entstehung der Anomalien, aber nicht notwendig, da auch die Pflanzen sie im Freilandboden darboten.

4. Direktes Sonnenlicht, ganz allgemein helles Licht.

Sehr förderlich, wenn auch nicht notwendig, besonders im Falle daß die Rosetten sehr nahrungsreich sind. Die Anomalien treten auch

bei rein diffusem etwas geschwächtem Licht auf. Kurzer Aufenthalt (10—14 Tage) im Dunkeln, vor allem bei 30°, begünstigt die Bildung von Anomalien, ebenso mehrwöchentlicher Aufenthalt im roten Licht. Bei längerem Aufenthalt im roten Licht oder in einem für die Blütenbildung zu geringem Licht werden die vegetativen Bildungen häufiger, die Anomalien seltener. Jedenfalls ist helles Licht einer der wesentlichen Faktoren für gesteigerte Variabilität.

5. Entstehung der Blüten in den Achseln der Stengelblätter nach Abblühen der terminalen Infloreszenz.

Nicht notwendig, da Blütenanomalien selbst in der terminalen Infloreszenz auftreten können (vgl. den Versuch 1903/04).

6. Entfernung der ganzen Hauptachse oder ihres obersten Teiles.

Nicht notwendig, wie bereits vorhin (s. S. 96) besprochen worden ist. Das Abschneiden ist förderlich, weil dadurch den neu entstehenden Blüten mehr Nahrung zur Verfügung steht.

7. Gute Düngung.

Dieser Punkt bedarf einer eingehenderen Prüfung. Ich führe die Versuche mit verschiedener Düngung an und gebe dabei für je 1 Exemplar von *Funkii* die Zahl der abweichenden neogenen Blüten an, wobei ich als Beispiel für Anomalien die Petalodie und die Karpid-Antheren nehme.

a) Warmbeet, Boden mit Mist und Kompost gedüngt:

37 neogene Blüten, davon 24 abweichend; 6 mit Petalodie, 3 mit Karpid-Anthere.

b) Kasten, 1 □ m Fläche, 25 cm Tiefe, Gartenerde mit 100 gr Poudrette,¹⁾ 100 gr Maerckerschem Dünger:²⁾

25 neog. Blüten, 21 abweichend; 2 mit Petalodie, 7 mit Karpid-Anthere.

¹⁾ Poudrette ist getrockneter Menschendünger.

²⁾ Der Maercker-Dünger enthält 13,95 Kali, 12,42 Natron, 12,78 Chlor, 33,25 Schwefelsäure, 5,53 Stickstoff, 7,84 Kalk, 5,76 Phosphorsäure, 8,44 Wasser.

e) Topf mit 2 Liter Gartenerde, 1 Liter Schmiededünger, ¹⁾ 90 gr Maercker-Dünger:

26 neog. Blüten, 25 abweichend; 5 mit Petalodie, 8 mit Karpid-Anthere.

d) Kleiner Topf (mit 150 cbm Inhalt) nur mit Schmiededünger:
29 neog. Blüten, 26 abweichend; 9 mit Petalodie, 4 mit Karpid-Anthere.

e) Gläser mit Knopscher Nährlösung (100 cbm); man vgl. die früheren Versuche (1905, Tab. XI—XVI, S. 226); neue Versuche Sommer 1905.

1 % Knop-Lösung:

26 neog. Blüten, 24 abweichend; 7 mit Petalodie, 3 mit Karpid-Anthere.

1,5 % Knop-Lösung:

13 neog. Blüten, 12 abweichend; 4 mit Petalodie, 1 mit Karpid-Anthere.

Alle diese verschiedenen Formen der Düngung wirken anscheinend in der gleichen Richtung und befördern sehr das Auftreten von abweichenden Blüten mit Anomalien. Aber sie sind während des eigentlichen Versuches nicht notwendig, wie die folgenden zeigen.

f) Kleiner Topf (150 cbm) mit gewöhnlicher Gartenerde:

39 neog. Blüten, 27 abweichend; 6 mit Petalodie, 4 mit Karpid-Anthere.

g) Kleiner Topf (150 cbm) mit Gartenerde und ein paar großen Stücken von Alaun:

46 neog. Blüten, 40 abweichend; 15 mit Petalodie, 7 mit Karpid-Anthere.

Obgleich man von einer Nährwirkung des Alauns nicht sprechen kann, wurde hier ein relativ hoher Grad der Petalodie (ca. 32 %) beobachtet.

h) Chlornatrium-Lösungen.

Um die Wirkung eines ungünstigen Nährmediums zu prüfen, setzte ich Rosetten von *Funkii* auf Gläser mit 0,2, 0,5 und 1 % Kochsalzlösung,

¹⁾ Schmiededünger besteht, wie der Name andeutet, aus Hornabfällen u. dergl. aus einer Schmiede.

der ich außerdem noch 0,1 Knop-Lösung zugefügt hatte: Die terminalen Infloreszenzen wurden gleich nach Beginn des Blühens entfernt. In der Achsel der Stengelblätter traten nur wenige Blüten hervor:

bei 0,2 % NaCl 7 Blüten, sämtlich abweichend, aber nur starke Reduktion von Staubblättern und Karpiden;

bei 0,5 % NaCl 10 Blüten, 8 abweichend, neben Reduktions-Erscheinungen, 2 Blüten mit Petalodie, 2 mit Karpid-Anthere;

bei 1 % NaCl 5 abweichende Blüten wie bei 0,2.

Unter den 22 Blüten fanden sich demgemäß 20 abweichende, einige wenige wiesen stärkere Anomalien auf.

Nehmen wir für die Versuche im Frühjahr gut ernährte Rosetten, so ist es nicht notwendig, während der Wachstumszeit besonders gut zu düngen; selbst ungünstig zusammengesetzte Lösungen, stark konzentrierte saure Knopflösungen, sogar Kochsalzlösungen, ermöglichen noch die Bildung von Anomalien. Aber im Durchschnitt der Fälle ist gute Düngung das sicherste Mittel, reichliche Anomalien zu erhalten.

Kein einziger der näher untersuchten äußeren Einflüsse ist an und für sich eine spezifische Bedingung, durch die ein typisch blühendes Individuum zur Bildung anomaler Blüten gebracht wird. Damit stimmen auch die früher erwähnten, anscheinend sehr widerspruchsvollen Angaben anderer Forscher überein. Es fragt sich nun, ob nicht doch in allen Versuchen gemeinsame innere Veränderungen anzunehmen sind.

III. Die inneren Bedingungen für die Entstehung der Anomalien.

Für die folgenden Betrachtungen gehe ich von den Anschauungen aus, die ich in den „Problemen der Entwicklung“ (1904) dargelegt habe und die sich aus dem Studium der Fortpflanzungs-Erscheinungen bei Algen und Pilzen herleiteten. Der entscheidende Grund für das

Auftreten der Fortpflanzungsorgane an Stelle des vorhergehenden Wachstums liegt nach meiner Meinung in quantitativen Veränderungen der für alle Gestaltungsprozesse wichtigen, allgemeinen äußeren Bedingungen. Diese Anschauung suchte ich auch für die Blütenbildung der Phanerogamen zu verteidigen; ich verallgemeinerte sie für die Gestaltungsprozesse der Pflanzen überhaupt.

Die in den vorhergehenden Abschnitten besprochenen Anomalien der Blüten und Blütenstände liefern ein weiteres Material zur Stütze dieser Auffassung. In keinem Falle liefs sich irgend ein einzelner spezifischer äußerer Faktor als veranlassendes Moment erkennen; nirgends lassen sich bestimmte Photo-, Bary-, Chemomorphosen u. dergl. im Sinne von Sachs u. a. nachweisen. Ich erinnere daran, dafs der gleiche Vorgang, z. B. die Petalodie der Staubblätter, durch Pilze und Tiere, wie durch Ernährungs-Änderungen hervorgerufen wird. Auch bei der letzteren Gruppe von Ursachen kommt nicht ein einzelner Faktor für sich in Betracht; verschiedene Kombinationen der äußeren Einflüsse können zu dem gleichen Ziel führen.

Es erhebt sich nun die fundamentale Frage, welche inneren Veränderungen durch die verschiedenen äußeren Bedingungen für einen bestimmten Gestaltungsvorgang hervorgerufen werden. Nach meiner Hypothese sind auch diese ersten inneren Veränderungen quantitativer Art; sie bestehen in Änderungen der Konzentrations-Verhältnisse der die Zellen zusammensetzenden Substanzen. Für den besonderen Fall der Bildung der Geschlechtsorgane, sei es bei niederen wie höheren Pflanzen, nahm ich eine Steigerung der Konzentration gewisser organischer Stoffe, wie Kohlehydrate, event. auch anderer Substanzen, an.

Mit dieser Hypothese stelle ich mich in einen Gegensatz zu Sachs, der für die Bildung der Organe, wie Wurzeln, Stengel, Blätter, Blüten, spezifische Stoffe annahm, die nach Art von Fermenten wirken sollten. Seine Hauptstütze lag in der Behauptung, dafs die ultravioletten Strahlen für die Blütenbildung eine spezifische Bedeutung hätten; durch sie würden in den Blättern die Blütenfermente entstehen. Diese Behauptung ist in dieser Form jedenfalls unrichtig (Klebs 1904, S. 547).

Überhaupt ist die Annahme von spezifischen Fermenten für so äußerst komplizierte Vorgänge nur eine Umschreibung des Problems

und nicht zu einer bestimmten Fragestellung geeignet. Aber es folgt aus dieser Annahme die richtige Frage, wie weit Vorgänge qualitativer Art bei den Gestaltungsprozessen mitwirken. Wenn man zwei nicht blofs durch ihre Gröfse, sondern durch ihre Form unterschiedene Glieder einer Pflanze betrachtet, so ist der nächstliegende Gedanke, dafs sie qualitativ, d. h. chemisch verschieden zusammengesetzt sind. Das ist auch heute die allgemein herrschende Meinung, die fast für selbstverständlich gilt, deshalb aber nicht richtig zu sein braucht. Ich habe mich früher (1904, S. 555) bemüht nachzuweisen, dafs für die oft so verschiedenen Blattformen einer Species die Annahme qualitativer Verschiedenheit eines tatsächlichen Nachweises entbehrt. Solche formal oft sehr abweichende Blätter bestehen aus den gleichen histologischen Bestandteilen und aus den gleichen chemischen Substanzen. Die Auffassung, die Verschiedenheit auf quantitative Unterschiede der Zellteile wie der Zellsubstanzen zurückzuführen, erscheint mindestens berechtigt, wenn auch vorläufig hypothetisch.

Viel schwieriger noch liegt die Frage nach den Gründen der Verschiedenheit von Gliedern, die verschiedenen Organkategorien angehören, wie z. B. von vegetativen Teilen und Blüten. Man könnte sich auch hier darauf berufen, dafs bisher die chemische Untersuchung keine blofs in Blüten vorkommende Substanzen, abgesehen vielleicht von ätherischen Ölen, nachgewiesen hat; man könnte auch betonen, dafs alle Teile der Blüte in jugendlichem Zustande durch kleine Ernährungsänderungen wieder vegetativ werden können. Aber mit Recht wird man auf der anderen Seite einwerfen, dafs unsere heutigen Kenntnisse zu gering sind, um ein Urteil zu fällen. Für den letzten Reifeprozefs der Geschlechtsorgane sind doch eigenartige chemische Umsetzungen sehr wahrscheinlich.

Indessen bestreitet meine Hypothese das Vorkommen solcher qualitativ verschiedener Vorgänge in keiner Weise; sie sagt nur aus, dafs die ersten wesentlichen Vorbereitungen für die Bildung der Blüten auf einer Änderung der Konzentrations-Verhältnisse beruhen, als deren weitere Folgen dann die bei der eigentlichen Ausbildung der Organe tätigen Prozesse aufzufassen sind. Ich wies darauf hin (Klebs 1904, S. 490. 508), dafs nach den Ergebnissen der physikalisch-chemischen Forschung durch einfache Änderungen der Konzentrations-Verhältnisse

nicht blofs die Intensität, sondern auch die Art der chemischen Umsetzungen verändert werden kann. Wenn eine blühreife Rosette von *Sempervivum* vorliegt, d. h. eine Rosette, die alle wesentlichen Vorbereitungen für das Blühen, aber noch keine sichtbaren Anlagen dazu besitzt, so ist nach meiner Meinung der entscheidende Unterschied gegenüber einer oft gleich grofsen, nicht blühreifen Rosette quantitativer Art, ganz unabhängig davon, wieviel chemische Prozesse besonderer Natur bei der eigentlichen Bildung der Blüten tätig sind. Es handelt sich zunächst um eine Arbeitshypothese, die einseitig sein kann, aber nicht so einfach, wie Benecke (1906, S. 101) meint, beseitigt werden kann. Benecke begründet sein Urteil, indem er sagt: „denn nicht der gröfsere oder geringere Reichtum an Stoffen, nicht die Quantität, vielmehr die Qualität der Nahrung unterscheidet vegetativ und fruktifikativ wachsende Pflanzen.“ Dieser so dogmatisch gefafste Satz ist doch nur der Ausdruck der üblichen Meinung, deren mangelhafte Begründung hervorgehoben wurde. Der Satz erscheint aber heute schon in der gegebenen Form als unrichtig, weil sich, wie Benecke selbst darlegt, die Bedeutung der Quantität aus einer Reihe von Tatsachen ergibt. Die Einschränkung der Nährsalzaufnahme, die fort dauernde Synthese organischer Substanzen (Klebs 1904, S. 550; 1905, S. 312) sind wesentliche Momente für die Blütenbildung. In diesem Sinne hat sich auch H. Fischer (1905, S. 482) ausgesprochen, der mit Recht auf die Einschränkung der Stickstoffaufnahme Gewicht legt. Loew (1905, S. 127), der zunächst die Konzentration des Zuckers für die Blütenbildung betonte, veröffentlichte dann einige Versuche, die für die Bedeutung der Stickstoffentziehung sprachen (1905, S. 324). Benecke (1898, S. 89) hatte schon früher die wichtige Beobachtung gemacht, dafs bei *Vaucheria* gerade die Stickstoffentziehung auf die Bildung der Geschlechtsorgane förderlich wirkt. Da Stickstoff für den Geschlechtsprozess an und für sich ebenso notwendig ist, wie für irgend einen anderen Lebensvorgang, so kommt es hier nur auf eine gewisse quantitative Verminderung an. Die Meinung von Benecke aber, dafs viele Pflanzen dem Stickstoffmangel abzuhelpen suchen, indem sie unter Aufgabe ihrer eigenen Existenz für Nachkommenschaft sorgen, d. h. blühen und fruchten, enthält eine rein teleologische Deutung, die hier nicht in Betracht kommt.

Für die Untersuchung der Frage nach der Ursache der Blütenanomalien ist man immer genötigt, auf die Ursachen der normalen Blütenbildung einzugehen. Ich will die Besprechung vorausschicken, bei der ich besonders die Versuche mit *Sempervivum*-Arten berücksichtigen will. Über die in Angriff genommene chemische Untersuchung kann ich erst später berichten.

1. Über einige Bedingungen der Blütenbildung.

Die Blütenbildung tritt im allgemeinen nach einer Periode des vegetativen Wachstums ein. Da die beiden bis zu einem gewissen Grade entgegengesetzten Prozesse von den gleichen äußeren Bedingungen abhängen, so können nur quantitative Unterschiede eben dieser Bedingungen darüber entscheiden, ob Blütenbildung oder Wachstum erfolgt. Ist auch der tatsächliche Nachweis dafür bisher nur für wenige Phanerogamen geliefert worden, so genügt er zunächst für die prinzipielle Auffassung.

Daher kommt es bei der Untersuchung auf die Feststellung solcher Differenzen an, und sie ergeben sich nur aus dem Vergleich der für beide Lebensprozesse maßgebenden Bedingungen. Da diese Bedingungen für beide innerhalb gewisser oft ziemlich weiter Grenzen schwanken können, da ferner die Versuche meist mehrere Monate, manchmal Jahre in Anspruch nehmen, während welcher Zeit die Bedingungen sich sehr stark und häufig in nicht kontrollierbarem Grade ändern, so ist die gegebene Aufgabe mit sehr großen und kaum überwindlichen Schwierigkeiten verknüpft.

Für die Untersuchung kann man zwei verschiedene Wege einschlagen: Man kann versuchen, die Bedingungen festzustellen, die die Pflanzen von dem vegetativen Zustand in den blühenden überführen. Unter den vielen dabei möglichen Zwischenstadien kann man bei zweijährigen Pflanzen, bei *Sempervivum*-Arten besonders noch den blühreifen Zustand unterscheiden, in welchem, wie vorhin bemerkt, die meisten inneren Vorbereitungen für das Blühen getroffen, aber noch keine merkbaren Anlagen vorhanden sind. Auf der anderen Seite kann man gerade von dem blühreifen oder auch blühenden Zustande ausgehen und untersuchen, durch welche Mittel er umgeändert und wieder

in den vegetativen zurückgeführt wird. Diesen zweiten Weg will ich zuerst behandeln, ohne mich im einzelnen ganz strenge daran zu halten.

Unter den Bedingungen treten als besonders wichtig hervor: die Bildung organischer Substanz im Licht und die Einschränkung der Nährsalzaufnahme. Dazu kommen Temperatur, Feuchtigkeit, Sauerstoff u. a. m. Den Einfluss der Nährsalz-Verminderung kann man vorerst ausschließen, wenn man blühreife Pflanzen in Töpfe mit guter Gartenerde setzt, deren Nährsalzgehalt die reiche Entfaltung der Blüten nicht in nachweisbarem Grade behindert, wie die Kontrollversuche beweisen. Unter solchen Umständen kann man die Blütenbildung einschränken oder völlig behindern durch folgende Mittel:

a) Veränderung der Intensität des Lichtes.

Es gibt für die Blütenbildung der einzelnen Pflanzen eine untere Grenze der Lichtintensität. Bei einem gewissen, je nach den Arten verschiedenen Minimum, erfolgt sie nicht, wie Vöchting (1895), Curtel (1898) u. a. nachgewiesen haben. Es gelang Vöchting, *Mimulus Tillingii* Jahre hindurch in vegetativem Zustande zu erhalten, indem er die Pflanze in schwächerem Lichte kultivierte. Am klarsten liegt die Sache bei den einjährigen Gewächsen, die sowohl vor wie während des Blühens lebhaft im Licht assimilieren müssen, weil sie vorher aufgespeicherte Nahrungstoffe nicht in genügendem Maße besitzen. Bei vielen anderen Pflanzen spielt die im vorhergehenden Jahre aufgespeicherte Nahrung in sehr verschiedenem Grade eine Rolle, am auffallendsten bei Knollen- und Zwiebelgewächsen oder bei manchen Bäumen, bei welchen sogar die jungen Blüten dabei angelegt sein können. Für sie ist die Lichtintensität des vorhergehenden Jahres in gleichem Sinne entscheidend, wie die des Blütenjahres bei Pflanzen ohne genügende Reservestoffe.

Eine wesentliche Ergänzung dieser Tatsachen liegt in den Beobachtungen von Sachs (1864), nach welchen die Blütenbildung im Dunkeln vor sich geht, wenn nur die Blätter genügend beleuchtet sind. So konnte er an den in einen Dunkelkasten eingeführten jungen Infloreszenzen von *Petunia*, *Antirrhinum*, *Phaseolus* und besonders von *Cucurbita* normale Blütenbildung nachweisen. Allerdings zeigten sich

auch einige Ausnahmen wie z. B. *Linum usitatissimum*, dessen Gipfel sich im Dunkeln verlängerte, ohne normal entfaltete Blüten zu bilden. Meine eigenen Versuche nach der gleichen Methode bestätigten die Beobachtungen von Sachs für *Mimulus luteus*, *Digitalis purpurea*, *Veronica chamaedrys* und *longifolia*. Unter den Lichtverhältnissen im Instituts-Gewächshaus hörte allerdings die Bildung offener Blüten allmählich auf; das erste Zeichen einer Ernährungsschwächung trat in dem Verblässen der blauen Farbe bei *Veronica*, der roten bei *Digitalis* hervor, und später öffneten sich die Knospen nicht mehr. Höchst wahrscheinlich ist die allmähliche Abnahme der Blütenbildung trotz Beleuchtung der Blätter darauf zurückzuführen, daß die starke Streckung der Achse im Dunkeln die zugeführte Nahrung zu sehr in Anspruch nimmt.

Jedenfalls ist dieser Einfluß der Lichtintensität wohl nicht anders zu verstehen, als durch die Auffassung, daß für die Blütenbildung eine gesteigerte C. Assimilation im Vergleich zu dem Wachstum wesentlich ist.

b) Veränderung der Zusammensetzung des Lichtes.

In meiner letzten Arbeit (1903, S. 196) bin ich ausführlicher auf die Frage nach dem Einfluß der Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge auf die Blütenbildung eingegangen. Die Versuche wurden mit Glashäuschen aus rotem, blaugrünem und weißem Glase angestellt. Die Häuschen waren vormittags hellem diffusem Licht, nachmittags direkter Sonnenbeleuchtung ausgesetzt. Die Messungen lehrten, daß die Unterschiede der Temperatur und Feuchtigkeit sich in engen Grenzen hielten. Ich schloß aus meinen Versuchen, daß die rotgelben und blauvioletten Strahlen keine spezifischen Wirkungen auf die Blütenbildung ausüben, sondern nur verschiedene Grade der Ernährungsschwächung im Vergleich zu dem gemischten weißen Licht bedeuten. Hinter dem optisch hell durchsichtigen, blaugrünen Glas (hauptsächlich Durchtritt der kurzwelligen Strahlen $\lambda = 570 - 400$) verhalten sich die blühenden, zum Versuch benutzten 1jährigen Pflanzen (*Specularia speculum*, *Anagallis coerulea*, *Lobelia erinus*, *Silene pendula*, *Emilia sagittata* u. a.) genau so, als wären sie einem geschwächten Licht ausgesetzt. Sie hören mit der weiteren Entfaltung der Blüten und mit

der Bildung der Knospen oft nach wenigen Tagen auf. Im roten Licht (hauptsächlich Durchtritt der langwelligen Strahlen $\lambda = 720 - 580$) ist die Zahl der Blüten bedeutend geringer als im weissen Licht, aber die Blütenbildung kann monatelang andauern. Bei Pflanzen mit Reservestoffen hängt die Wirkung des blauen und roten Lichtes wesentlich von dem Zeitpunkt des Versuches ab. Im März in das blaue Häuschen gestellte blühreife Semperviven bilden zwar die Infloreszenzachse, aber diese erzeugt keine Blüten, sondern wird rein vegetativ. Die gleichzeitig in rotes Licht eingestellten Rosetten vermögen noch Blüten wenn auch in geringer Anzahl zu erzeugen. Im roten Licht tritt eine Überverlängerung der Achse ein, die durch Beschlagnahme von Nahrungstoffen die Blütenbildung noch einschränkt. Im blauen Licht erfolgt nicht eine solche Vergeilung, es fällt dieser Grund für die Hemmung der Blüten fort, und doch ist sie so ausgesprochen. Für die vorliegende Aufgabe sind die Resultate im blauen Licht von besonderem Interesse, weil sie beweisen, daß ein relativ kurzer Aufenthalt im blauen Licht genügt, um eine völlig blühreife Pflanze in den vegetativen Zustand zurückzusetzen. Der Monat April ist die entscheidende Zeit; denn in der 2. Hälfte erfolgt durchschnittlich die erste wirkliche Anlage der Blüten. Wird der Versuch vorher angestellt, z. B. Anfang April, so kommt es nicht mehr dazu, es bildet sich eine vegetative Endrosette. Im Jahre 1906 gelang es mir, ein interessantes Zwischenstadium herbeizuführen: eine am 25. April in blaues Licht versetzte Rosette von *Sempervivum Funkii* bildete die typische Infloreszenz mit Wickeln, aber es traten neben wenigen Blüten meist vegetative Rosetten an Stelle von ihnen an den Wickeln auf. Es genügt die Verminderung der C. Assimilation, um dieses auffallende Resultat hervorzurufen.

Der Einfluß der kurzwelligen blauvioletten Lichtstrahlen auf die C. Assimilation der grünen Pflanze ist eine viel umstrittene Frage. Dartüber kann kein Zweifel herrschen, daß im blauen Licht eine gewisse Assimilation erfolgt; der Streit dreht sich nur darum, wie groß der Anteil der kurzwelligen Strahlen im Vergleich zu denen der langwelligen ist.

In neuester Zeit hat Stahl (1906) in einem interessanten Aufsatz großes Gewicht auf die Wirkung der blauvioletten Strahlen gelegt, indem er sich auf die Versuche von Engelmann und

Timiriaseff stützt. Nach der Ansicht Stahls (l. c. S. 19) verändert sich bei diffusem blauem Himmelslicht „das Verhältnis zugunsten der blauen Hälfte des Spektrums derart, daß schon bei blaßblauer Himmelsfärbung die Wirkung der beiden Spektrumshälften sich gleich stark äußert, bei intensiv blauem Firmament aber sicher noch eine weitere Verschiebung zu Gunsten der brechbaren Hälfte des Spektrums zu erwarten ist“.

Dieser Ansicht widersprechen noch die bis jetzt bekannten Tatsachen (vgl. Pfeffer 1897, S. 334), auch aus den Angaben von Engelmann (1884, s. Curve Taf. II) geht hervor, daß die C. Assimilation im Blau deutlich geringer ist als im Rot. Bis also nicht neue einwurfsfreie Tatsachen vorliegen, wird man an der Verminderung des Prozesses im Blau festhalten.

Bei der C. Assimilation entstehen nach allen Erfahrungen vorwiegend die Kohlehydrate (Zuckerarten, Stärke); ihre Ansammlung muß gerade für die Blütenbildung entscheidend sein. Indessen können unter Umständen auch andere Stoffe dafür eintreten. So hat gerade für die *Sempervivum*-Arten Gr. Kraus (1886) die wichtige Tatsache festgestellt, daß die Kohlehydrate in relativ geringer Menge entstehen, dagegen der apfelsaure Kalk sich stark anhäuft, um dann an geeigneter Stelle wieder verbraucht zu werden. Nach neueren Untersuchungen zahlreicher Forscher befördert das Licht auch die Synthese eiweißhaltiger Körper (vgl. besonders Godlewski 1903) und zwar nicht bloß indirekt durch Bildung der dafür nötigen Kohlehydrate, sondern direkt, indem es die nötige Energie liefert. Nach Laurent und Marchal (1903, zitiert nach Czapek 1905, II, S. 206) sollen gerade die ultravioletten (dann wohl auch die blauvioletten) Strahlen für die Eiweißsynthese wirksam sein im Gegensatz zu den unwirksamen roten. Sollte sich das bestätigen, so würde die relative Vermehrung solcher Nhaltigen Stoffe die Einschränkung der Fortpflanzungstätigkeit durch das blaue Licht noch verständlicher machen.

c) Veränderung der Temperatur.

Es kommt hier nicht auf die allgemeine Frage nach der Abhängigkeit der Blütenbildung von der Temperatur an. Vielmehr handelt es sich um Vorgänge, bei denen an und für sich blühreife

Pflanzen mit Hilfe geeigneter Temperatur wieder in den rein vegetativen Zustand übergeführt werden. Die besten Beispiele dafür liefern die 2jährigen Gewächse, wie Zuckerrübe, *Cochlearia*, *Digitalis* (s. S. 73), die im Herbst des 1. Jahres sehr reich an Reservestoffen sind, die dann bei der Blütenbildung des 2. Jahres wesentlich mitwirken. Das auffallendste Verhalten zeigen diese Pflanzen, wenn man sie vom Herbst ab in ein relativ warmes Gewächshaus stellt, in dem sie neue Blätter bilden. Im nächsten Sommer vermögen diese Gewächse nicht zur Blüte zu kommen; wie ich zeigte, kann man den Versuch mehrere Jahre hintereinander wiederholen (s. S. 71). Ebenso verhalten sich auch perennierende Pflanzen, wie *Glechoma*, *Heuchera*, *Sempervivum* u. a.

Durch das Wachstum während des Winters wird nicht etwa eine solche Erschöpfung der Nahrung herbeigeführt, daß das Blühen unmöglich wäre. Gerade die Zuckerrübe liefert den schlagendsten Beweis gegen eine solche Annahme. Denn um den Stengel zu strecken und einige Blüten zu bilden, braucht die Pflanze sehr geringe Mengen der Nahrungstoffe. Die im Herbst entstandenen, bis zum nächsten Frühjahr höchst kümmerlichen Keimlinge können trotz ihrer Kleinheit und Nahrungsarmut doch sofort zur Bildung der Infloreszenzachse übergehen (s. S. 74). Die mächtigen Herbststrüben, die den Winter über warm stehen, sind bis zum Frühjahr immer noch mehr als hundertmal so reich an Nahrung und blühen doch nicht. Der entscheidende Faktor kann doch nur in einer andersartigen Verschiebung der Konzentrations-Verhältnisse der die Zelle zusammensetzenden organischen Stoffe liegen.

Die Bedeutung der Temperatur ging aus den gleichzeitigen Versuchen in einem Kalthaus hervor, in welchem die Pflanzen bei einer durchschnittlich gleichen Beleuchtung und Feuchtigkeit, aber bei niedrigerer Temperatur (6—12°) den Winter über lebten und auch langsam wuchsen. Alle die so behandelten Pflanzen kamen regelrecht im nächsten Sommer zur Blüte.

Durch die höhere Temperatur wird das stoffverbrauchende Wachstum in beständigem lebhaften Gange erhalten und dabei die stoffzerstörende Atmung gesteigert. Man wird annehmen können, daß die Menge der Kohlehydrate im Verhältnis zu den vorhandenen Stickstoffverbindungen unter ein gewisses Maß herabgesetzt wird. Die tieferen Vorgänge sind bisher unbekannt; die merkwürdig lange Nach-

wirkung, die in dem rein vegetativen Wachstum während des ganzen Sommers hervortritt, ist eine bisher unerklärliche Erscheinung. Allerdings wird es wohl möglich sein, die Fortpflanzungstätigkeit in dem gleichen Jahre wieder zu erwecken.

In den bisherigen Versuchen kamen die aus dem Boden aufgenommenen Nährsalze für die Resultate nicht wesentlich in Betracht, sondern die bei der C. Assimilation entstehenden organischen, besonders Nfreien Stoffe. Jetzt können wir den umgekehrten Weg einschlagen, d. h. die Versuche so einrichten, daß die C. Assimilation in einem für die Blütenbildung durchaus genügenden Grade vor sich geht, dafür die Quantität der Nährsalze verändert, und zwar gesteigert wird. Bei einfachen Algen, wie *Spirogyra*, *Oedogonium*, *Chlamydomonas*, kann man durch Nährsalzlösungen (Knopsche Lösung) die Geschlechtsbildung völlig durch Wachstum ersetzen, bei anderen, wie *Vaucheria*, wenigstens den Eintritt des Prozesses verzögern. Benecke (1898) hat gerade für *Vaucheria* nachgewiesen, daß speziell der Mangel an Stickstoffverbindungen die Geschlechtsbildung befördert.

An Phanerogamen sind vielfach gelegentliche Beobachtungen gemacht worden, nach denen Verminderung der Nährsalzaufnahme das Blühen befördert (Möbius 1897, S. 124; Benecke 1906, S. 103). Methodisch durchgeführte Versuche mit bestimmten Resultaten sind aber kaum gemacht worden. Loew (1905, S. 128) erwähnt einen Versuch mit Gerstenpflanzen, bei welchem steigende Mengen Stickstoff in Form von Ammonnitrat gegeben wurden. Bei einem Verhältnis von Phosphorsäure zu Stickstoff wie 1 : 3 wurde die Blütenbildung um 16 Tage verzögert gegenüber Pflanzen, bei denen das Verhältnis der beiden Stoffe wie 1 : 1 war. In einer zweiten Arbeit bespricht Loew (1905, S. 325) Versuche mit Erbsen und Buchweizen, die nach anfänglicher normaler Kultur in eine Nfreie Lösung übergeführt wurden. Die Erbsen kamen aber nicht zur Blüte. Die 3 Buchweizenpflänzchen in Nfreier Lösung zeigten nach 14 Tagen eine Anzahl kleiner Blütenknospen, die aber nicht zur Entfaltung gelangten — ein Zeichen, daß die Pflanzen sich in sehr kümmerlichem Zustand befanden; die 3 Kontrollpflanzen zeigten keine Blüten. Aus diesen Versuchen lassen sich wohl überhaupt keine Schlüsse ziehen.

Die Verhältnisse sind bei den Blütenpflanzen sehr verwickelter Natur. Nimmt man blühreife Rosetten von *Sempervivum Funkii*, die, wie wir wissen, durch blaues Licht wieder rein vegetativ werden können und setzt sie Ende März oder Anfang April auf Nährsalzlösungen von 0,1—3 ‰, auf denen sie sehr gut gedeihen, so gelingt es nicht, die Blütenbildung zu verhindern; es tritt nicht einmal eine merkliche Verzögerung der Blütezeit ein. Die archegonen Blüten sind normal. Darin stimmen die in 3 Jahren (1903/05) wiederholten Versuche überein.

Ganz anders ist das Resultat, wenn ich schon Ende Februar oder Anfang bis Mitte März solche blühreife Rosetten in ein gut gedüngtes, warmes feuchtes Beet setze. Die Versuche während dreier Jahre fielen übereinstimmend aus; die Rosetten kamen in dem Versuchsjahr zu keiner Streckung der Achse, keiner Blütenbildung. Hier wirken aber neben dem reichlichen Nährsalzgehalt auch Feuchtigkeit und Temperatur mit, namentlich die erstere, die eine lebhaftere Wasseraufnahme bei beschränkter Transpiration herbeiführt, beides Momente, die lebhaftes vegetatives Wachstum bedingen, aber der Blütenbildung entgegenwirken (Möbius 1897, S. 113; vgl. besonders die Arbeit von Gain 1895; ferner Klebs 1904, S. 548). Wenn man unter den gleichen Verhältnissen des Warmbeetes blühreife Rosetten Ende April, d. h. noch zur Zeit der allerersten Blütenanlagen kultiviert, so erfolgt die typische Infloreszenzbildung. Aber man beobachtet vielfach das Auftreten vegetativer Rosetten an Stelle von Blüten (Klebs 1905, S. 243 u. w.).

Obwohl die Produktion organischer Substanz bei der C. Assimilation in solchen Kulturen lebhaft vor sich geht, so wird dennoch die Umkehr zum vegetativen Leben durch die Steigerung der Wasser- und Nährsalzaufnahme bewirkt. Das dadurch eingeleitete Wachstum, das selbst seinerseits einen Verbrauch der Kohlehydrate u. s. w. nach sich zieht, beseitigt dann immer mehr die für die Blütenbildung anfangs noch vorhandene Konzentration dieser Stoffe.

Zum Schluß will ich kurz für den speziellen Fall von *Sempervivum* die Tatsachen zusammenfassen, frei von jeder Hypothese. Ich gehe aus von einer vorher kräftig ernährten, blühreifen Rosette und mache die Versuche, die über ihr Schicksal entscheiden, vor oder während der ersten Anlagen der Blüten. Dann zeigt sich folgendes:

1. Bei lebhafter C. Assimilation in hellem Licht, stark gesteigerter Wasser- und Nährsalzaufnahme erfolgt lebhaftes vegetatives Wachstum.

2. Bei lebhafter C. Assimilation in hellem Licht und Einschränkung der Wasser- und Nährsalzaufnahme erfolgt lebhaftige Blütenbildung.

3. Bei einer mittleren Wasser- und Nährsalzaufnahme, die beide Lebensprozesse gestattet, hängt es von der Intensität der C. Assimilation ab, welcher von beiden eintritt. Bei Schwächung der Produktion organischer Substanz, z. B. im blauen Licht, erfolgt vegetatives Wachstum, bei Steigerung Blütenbildung.

Auf die wichtige Frage nach dem Einfluß der einzelnen Salze, die H. Fischer (1905) und Benecke (1906) berührt haben, hoffe ich später auf Grund neuer Versuche eingehen zu können.

2. Über die inneren Vorgänge bei der Bildung der Anomalien.

Die Tatsachen und die daran geknüpften Betrachtungen des vorigen Abschnittes geben die Grundlage für den Versuch ab, die anscheinend so verschiedenartige Entstehung der Anomalien auf gewisse gemeinsame innere Vorgänge zurückzuführen. Man kann von der vorhin behandelten Erscheinung ausgehen, die gegenüber dem typischen Verhalten bereits als eine auffallende Anomalie bezeichnet werden muß, nämlich von der Entstehung der Rosetten an Stelle von Blüten bei *Sempervivum*. Sie zeigt sich 1) im Fall einer „starken“ Ernährung im Sinne der praktischen Gartenkultur (*excess of food* Darwin), d. h. einer gesteigerten Zufuhr von Wasser und Nährsalzen, 2) im Fall einer „schwachen“ Ernährung, d. h. einer Schwächung der C. Assimilation. In beiden Fällen ist das Verhältnis zu Gunsten des Wasser- und Nährsalzgehaltes im Organismus verschoben.

Die beiden Extreme, Rosetten- und Blütenbildung können durch sehr verschiedenartige Zwischenformen mit einander verbunden sein, weil zwischen den für beide Vorgänge charakteristischen Relationen der äusseren und damit der inneren Bedingungen alle möglichen andersgearteten Abstufungen eintreten können. Bei einer sich etwa gleich

bleibenden Aufnahme des Wassers und der Nährsalze kann die quantitative Veränderung der C. Assimilation doch in sehr verschieden abgestuften Graden vor sich gehen; in Wirklichkeit kommen noch die wechselnden Quantitäten des Wassers, der Nährsalze, unter diesen die der einzelnen Bestandteile, Stickstoff, Phosphor, Kalium u. s. w. hinzu. Nach meiner Auffassung beruht auf diesen so mannigfach abgestuften Konzentrations-Verhältnissen die Mannigfaltigkeit der Blüten-Anomalien (Klebs 1905, S. 313).

Die Anomalien der Blüten entstehen, wenn in dem Zeitpunkt, in welchem die ersten inneren Vorbereitungen für ihre Anlagen eingetreten sind, andere Umstände einwirken, durch welche die für die Blüten wesentlichen Konzentrations-Verhältnisse geändert werden. Praktisch läuft die Sache darauf hinaus, entweder kurz vor oder während der Blütenbildung sehr günstige Wachstumsbedingungen anzuwenden, oder auch solche Bedingungen zu verwenden, die für das Wachstum zwar nicht optimal sind, aber dieses in geringerem Grade einschränken als die Blütenbildung. (Klebs 1905, S. 304.) Die Wirkungen der verschiedenen Mittel, Blüten-Anomalien zu erzeugen, lassen sich dann als Folgen gemeinsamer innerer Vorgänge erkennen. Solche Mittel sind folgende:

a) Blühreife Rosetten werden Mitte bis Ende April in ein gut gedüngtes feuchtes Warmbeet versetzt.

Die Versuche sind früher beschrieben worden (Klebs 1905, S. 242). Die Steigerung der Wasser- und Nährsalzaufnahme gerade zur Zeit der ersten Blütenanlage bewirkt je nach dem Zustande der Anlage in verschiedenem Grade eine gewisse Konzentrations-Veränderung der C. Assimilate. Neben rein vegetativen Rosetten und Übergangsformen von Rosetten und Blüten treten dabei verschiedenartige Blüten-Anomalien auf. Wie früher bemerkt wurde (s. S. 8) hängt das Resultat solcher Versuche noch vielfach von Zufälligkeiten ab.

b) Kultur blühreifer Rosetten von April oder Mai ab auf anorganischen Nährlösungen oder in gut gedüngtem Gartenbeet, sei es im Freien, sei es unter Glas. Entstehung neuer (neogener) Blüten nach Entfernung oder dem Abblühen der zuerst gebildeten (archegenen).

Die Entwicklung der terminalen Infloreszenzen wird zunächst nicht geändert, die archehenen Blüten sind typisch. Infolge des Blühens wird die aufgespeicherte organische Nahrung (Kalkmalat, Kohlehydrate u. s. w.) zum Teil verbraucht. Den in den Achseln des Stengels oder auch der Rosettenblätter entstehenden neogenen Blüten steht also eine bereits quantitativ verminderte Menge der C. Assimilate zur Verfügung. Dazu kommt die lebhaftere Aufnahme der Nährsalze, durch welche das Verhältnis der Stoffe noch mehr zu Gunsten von diesen geändert wird und ferner die Aufnahme von Wasser. Da, je näher dem Boden, um so größer der Wasser- und Nährsalzgehalt ist, so erklärt sich, warum bei einer Pflanze von der Basis gegen die Spitze hin verschiedene Abstufungen der Konzentrationsverhältnisse möglich sind, infolge deren auch ganz verschiedene Grade der Mischung von vegetativen und fruktifikativen Eigenschaften erreicht werden.

Bei dieser Methode kommen die mannigfaltigsten Abänderungen der Blüten zu Stande, wie wir sie im ersten Abschnitt kennen gelernt haben. Sie sind um so reicher vertreten, je größer die Gesamtmenge der organischen Stoffe ist. In dieser Beziehung ist der Ernährungszustand der Rosette, so weit er von den Bedingungen des vorhergehenden Jahres abhängt, von großer Bedeutung. Ferner wirkt auch die Entfernung der ersten Blütenstände bald nach Beginn des Blühens förderlich ein.

e) Kultur in kleinen Töpfen ohne besondere Düngung; sonst wie b.

Hier wirkt wesentlich die Verminderung der aufgespeicherten und auch der durch die fortgehende C. Assimilation neu erzeugten organischen Stoffe infolge der Entwicklung der archehenen Blüten. Sie genügt bereits für die Erzeugung der Anomalien in den neogenen Blüten; aber für das Gelingen der Versuche ist es noch wesentlichlicher als bei Methode b, daß die Rosetten vorher gut ernährt sind und daß die archehenen Blüten frühzeitig mit ihren Infloreszenzen entfernt werden, letzteres um die Menge der C. Assimilate nicht zu sehr zu schwächen.

d) Kultur, besonders im April zur Zeit der Blütenanlage im Dunkeln bei 30° oder Kultur in rotem Licht und dann Entfernung der archehenen Blüten.

Solche Versuche sind in meiner früheren Arbeit (1905, S. 255 Tabellen) beschrieben worden; sie zeigen, daß unter Umständen auch wenig günstige Ernährungsbedingungen anormale Blüten hervorrufen, wie Schwächung der Konzentration der C. Assimilate im Dunkeln oder rotem Licht, die beide das vegetative Wachstum des Stengels relativ befördern. Bei solchen Versuchen überwiegt häufig das Wachstum in hohem Grade (1905, S. 256—258, Fig. 19—21), so daß dann Rosetten oder Ausläufer an Stelle von Blüten treten. Im blauen Licht war es nach den bisherigen Versuchen nicht möglich, auffallende Blüten-Anomalien, abgesehen von Änderungen der Zahl und Stellung der Blüten-teile, hervorzurufen, weil die Neubildung von Blütenanlagen während des Aufenthaltes bereits zu stark gehemmt ist und vegetatives Wachstum an die Stelle tritt. Indessen wird es wohl mit Hilfe einer andern Versuchsanstellung doch gelingen.

Die in dieser Arbeit besprochenen Anomalien von Infloreszenzen, besonders ihre vegetative Umbildung, lassen sich in entsprechender Weise auffassen. Immer kommt es darauf an, den richtigen Zeitpunkt zu finden, an dem man auf die jungen Anlagen absolut oder relativ günstige Wachstumsbedingungen einwirken läßt. Für jede Pflanze muß der richtige Zeitpunkt und das richtige Mittel ausprobiert werden.

Auch die von Blaringhem (s. S. 95) an 1jährigen Pflanzen, z. B. dem Mais, erhaltenen Anomalien lassen sich in ähnlicher Weise als Folgen der veränderten Ernährungsbedingungen verstehen. Die 1jährigen Pflanzen erzeugen relativ schnell bei intensiver C. Assimilation die für ihre Blütenbildung nötige Konzentration gewisser organischer Stoffe. Nach Entfernung des Hauptsprosses bleibt nur ein Teil der bereits vorbereiteten Substanzen übrig. Die dicht am Boden hervorgehenden Seitentriebe wachsen unter lebhafter Nährsalzaufnahme und bei fortgehender C. Assimilation. Daraus ergeben sich auch hier mannigfache Abweichungen der für die typischen Blüten erforderlichen Konzentrationsverhältnisse; je nach der spezifischen Natur der Rasse erscheinen Anomalien in verschiedener Form.

Man kann nun auch den Versuch wagen, die bei manchen Pflanzen durch Pilze oder Tiere veranlaßten Blütenanomalien z. B. Vergrünung, Petalodie u. a., auf ähnliche innere Vorgänge zurückzuführen, wie sie für

die Erscheinungen bei *Sempervivum* geschildert wurden. Es liegt bisher nicht der geringste Grund für die Annahme vor, daß solche Parasiten spezifisch wirksame chemische Stoffe ausscheiden, wobei die Frage nach dem Vorkommen von Chemomorphosen bei der typischen Gallenbildung offen bleiben mag (s. S. 94). Vielmehr liegt der Gedanke nahe, daß die Parasiten durch ihre eigene Ernährungstätigkeit die für die Bildung der Blüten-Anomalien maßgebenden Konzentrationsverhältnisse herbeiführen. Auch die Wirkung der Parasiten ist gebunden an den Zustand kurz vor oder während der ersten Blütenanlage. Die Parasiten entziehen einen Teil der vorhandenen Nahrung. Allerdings darf man nicht ohne weiteres voraussetzen, daß die Parasiten bloß gewisse Teile der Nahrung, z. B. vor allem Kohlehydrate und ähnliches fortnehmen und andere z. B. die anorganischen Salze oder die organischen N- und P-Verbindungen verschonen. Man bedarf dieser Annahme auch nicht. Denn durch die meist plötzliche und starke Entziehung gewisser Zellbestandteile (durch Pilze), noch stärker durch Verletzungen (durch Tiere), wird ein Strom von Stoffen aus anderen Teilen der Pflanzen, schliesslich von den Wurzeln her, nach den blütenbildenden Orten hingeleitet, womit eine Steigerung der Nährsalzaufnahme verbunden sein kann. Dann könnten auch die Stoffwechselprodukte besonders von Pilzen indirekt für die Entstehung der Anomalien tätig sein, indem sie die C. Assimilation der chlorophyllhaltigen Zellen an den befallenen Stellen bis zu einem gewissen Grade hemmen. Ob sich diese Gedanken als richtig erweisen, kann nur die weitere Forschung lehren.

Überhaupt haben diese Erörterungen, über die Ursachen der Blüten-Anomalien nur die Bedeutung, vorläufig über die Frage zu orientieren, da bei unserer heutigen Unkenntnis der wesentlichen chemischen Vorgänge in den Pflanzenzellen eine wirkliche Einsicht ausgeschlossen ist. Wir können uns keine rechte Vorstellung von den so mannigfach abgestuften, quantitativen Änderungen in den Konzentrationsverhältnissen machen. Jede der zahllosen Anomalien muß auf einer besonderen Kombination solcher inneren Bedingungen beruhen. In praktischer Hinsicht liegt die Aufgabe vor, diese Bedingungen für die wichtigsten Formen, z. B. für die Petalodie, kennen zu lernen, um sie mit größerer Sicherheit und für sich allein hervorrufen zu können.

Aber es türmen sich noch weitere theoretische Schwierigkeiten auf, wenn man das, was als vegetatives Wachstum bezeichnet wird, genauer analysiert. Nach der von mir vertretenen Grundanschauung werden auch die verschiedenen Wachstumsformen einer Species durch die gleichen äußeren Verhältnisse wesentlich bedingt; auch bei ihrer Bildung müssen quantitative Änderungen der gleichen äußeren Bedingungen entscheidend sein. Besonders lehrreich sind in dieser Beziehung die Versuche Vöchtings (1902) mit der Kartoffel (Marjolin-Rasse). Die Knollen bilden bei der Keimung in niedriger (dem Minimum nahen) Temperatur wieder Knollen, bei höherer Temperatur Laubspresse. So sagt denn auch Vöchting (l. c. S. 108): „Verschiedene Quantitäten der Wärmeenergie bewirken die Entstehung morphotisch verschiedener Gebilde.“ Vöchting versucht eine Erklärung zu geben. Wenn man allein die Kohlehydrate berücksichtigt, so wird bei niedriger Temperatur ohne großen Energiewechsel der neu gebildete Zucker in Stärke umgewandelt, und dieser Prozess veranlaßt die Bildung neuer Knollen. Indem die höhere Temperatur Energie liefert, kann der Zucker mehr in Cellulose umgewandelt werden und dadurch den Anstoß für die Erzeugung von Laubtrieben geben.

In zahlreichen Fällen lassen sich die verschiedenen asexuellen Gestaltungsformen durch die Kenntnis der für sie charakteristischen äußeren Bedingungen künstlich hervorrufen (vgl. meine früheren Arbeiten 1903—1904). Solche vegetativen Organe zeigen von selbst wieder mannigfache Anomalien, Fasciationen, Zwangsdrehungen u. s. w., und die gleichen Probleme wie bei den Blütenanomalien treten uns entgegen. Die Entstehung der Fasciationen führen Sachs (1859), ebenso Goebel (1898, S. 164), Blaringhem (Juni 1905) u. a. auf das Übermaß von Nahrung zurück. Nach den für die Blütenanomalien gegebenen Darlegungen wird man auch hier neben der Vermehrung der absoluten Menge der Nahrung an eine Änderung der Konzentrations-Verhältnisse denken müssen. Nach Entfernung des Hauptstammes strömt einerseits die vorhandene organische Nahrung in die am Wurzelstock neu entstehenden Seitensprosse, andererseits werden diesen direkt aus dem Boden die Nährsalze zugeführt. Unter gewissen bisher nicht bekannten Mischungsverhältnissen erfolgt die Fasciation.

Wir stehen hier wie in allen den vorhin besprochenen Fällen vor ungelösten Fragen. Aber es sind doch wenigstens Fragen, die schon jetzt gestellt und später einer Lösung näher gebracht werden können. Für den Augenblick erscheint es noch nötig, durch die Wucht der Tatsachen der immer noch bekämpften und jedenfalls lange nicht genug beachteten Auffassung Bahn zu brechen, nach der alle typischen wie atypischen Gestaltungen der Pflanze in notwendigem Zusammenhange mit den Außenbedingungen stehen. Der Beweis liegt in der langsam aber sicher fortschreitenden Beherrschung der Pflanzenformen; dadurch wird der Weg bereitet für die exakte physiologische Behandlung, die allein das Problem der Formbildung wirklich in Angriff nehmen kann.

Vierter Abschnitt.

Über die Erbllichkeit künstlich erzeugter Anomalien.

Auf Grund der in den vorhergehenden Abschnitten besprochenen Tatsachen, sowie der sonst bekannten Resultate der Praxis und Forschung, kann man von zwei wesentlichen Sätzen ausgehen:

1. Die meisten Anomalien können als individuelle Variationen durch äußere Bedingungen hervorgerufen werden.

2. Die meisten Anomalien können, wenn sie gelegentlich an einzelnen Individuen auftreten, auf die Nachkommen übertragen und durch gute Ernährung und Zuchtwahl zu erblichen Rassecharakteren werden.

Bei unbefangener Überlegung, ohne Rücksicht auf irgend welche vorgefassten Meinungen, wird jedem der Gedanke einleuchten, daß zwischen den Tatsachen der beiden Sätze irgend ein Zusammenhang bestehen muß. Die Entstehung von individuellen Anomalien und die von erblichen weisen beide auf prinzipiell ähnliche, innere Vorgänge hin.

Bei den heute so lebhaft umstrittenen Hypothesen über die Entstehung der Arten tritt diese engere Beziehung der beiden Sätze nicht hervor, weil die Tatsachen des ersten, die doch zum Teil lange bekannt sind, keine genügende Beachtung gefunden haben. Bei den heute stark erweiterten Kenntnissen wird man nicht so einfach daran vorbeigehen können.

Noch aus einem anderen Grunde wird der Zusammenhang der beiden Sätze nicht beachtet; man schiebt zu sehr die Tatsachen des zweiten Satzes in den Vordergrund. Das geschieht gerade durch die Mutationstheorie von de Vries, der in seinen bedeutungsvollen Untersuchungen neben vielem anderen auch die Erbllichkeit zahlreicher Anomalien nachgewiesen hat. Eine seiner Hauptthesen sagt aus, daß

individuelle Variationen nicht vererbt werden, daß die Entstehung neuer Arten resp. Rassen auf dem sprunghaften Auftreten von sofort erblichen Charakteren, den Mutationen, beruht. Von verschiedensten Seiten wurde hervorgehoben, daß ein anderer Unterschied zwischen Variationen und Mutationen als das verschiedene Verhalten in bezug auf die Erbllichkeit nicht nachweisbar ist (Klebs 1903, S. 140; Plate 1903, S. 171). Dieser Streit berührt aber nicht das fundamentale Problem, wie wird irgend ein Merkmal erblich? Nach de Vries läßt sich diese Frage nicht beantworten; die Mutationen treten aus unbekanntem Gründen auf, unter denen teils innere, teils äußere Bedingungen anzunehmen sind (de Vries 1901, S. 354).

Für die folgenden Betrachtungen ist die Aufgabe zunächst einzuschränken, um sie schärfer zu bestimmen. Es handelt sich nicht um die Entstehung der uns heute bekannten Linnéschen Arten — ein Problem, das nur hypothetisch zu beantworten ist. Vielmehr kommt es darauf an nachzuforschen, warum bei diesen bereits existierenden Arten neue Merkmale mit erblichem Charakter entstehen, welche die elementaren Arten (de Vries), Varietäten, Rassen oder wie man sie nennen möge, kennzeichnen. Das beste Material für diese Untersuchungen liefern die Erfahrungen der Kultur. Der Streit, mit welcher Berechtigung und in welchem Grade solche Kulturformen zur Stütze irgend einer Hypothese über die Entstehung der Linnéschen Species herangezogen werden dürfen, braucht uns hier nicht zu beschäftigen. Denn es wird wohl allgemein anerkannt sein, daß solche Kulturformen die Grundprobleme der Variation und Erbllichkeit völlig klar darbieten. Wenn eine typisch blühende Pflanze von *Sempervivum Funkii* veranlaßt werden kann, die Umwandlung von Staubblättern in Blumenblätter vorzunehmen, so liegt hier die Frage nach den Ursachen der Variation vor; wenn eine typisch blühende Pflanze unter dem Einfluß längerer Kultur gefüllt blühende Rassen bildet, so tritt uns hier die Frage nach den Ursachen der Erbllichkeit klar entgegen.

Wer die kausal-mechanische Auffassung der Naturerscheinungen als leitendes Prinzip der Forschung anerkennt, wird von der Voraussetzung ausgehen, daß die innere Veränderung, welche zum Erblichwerden eines Merkmals, z. B. der Petalodie, führt, in irgend einem Zusammenhang mit einer äußeren Veränderung stehen muß. In dieser Beziehung

verhalten sich Variationen und Mutationen gleich. Es muß aber auf die Zeit und die Art der äußeren Einwirkung ankommen, ob ein Merkmal wie z. B. die Petalodie bloß als vorübergehende Variation oder als erbliche Mutation erscheint. Von äußeren Änderungen, die bei der Entstehung von Mutationen wirksam sein können, sind folgende zu unterscheiden:

A) Die Vereinigung zweier Geschlechtszellen, die verschiedenen Species oder Rassen angehören.

Durch die Vermischung zweier Zellen mit verschiedenen inneren Bedingungen entsteht die Möglichkeit für die Bildung neuer Rassen. Die heute so intensiv bearbeitete Lehre von der Bastardierung liefert einiges Beweismaterial und bestätigt die Ansichten der Forscher, welche die Bedeutung der Bastardierung für die Artbildung hervorheben (vgl. z. B. Solms-Laubach 1905, S. 24). Konstante Bastardrassen können unter Umständen entstehen durch neue Kombinationen der elterlichen Merkmale, z. B. bei der unisexuellen Vererbung (de Vries 1903, S. 66, 468). Aber der Prozeß der Bastardierung kann auch zu neuen, d. h. bei den Eltern nicht sichtbaren Merkmalen führen. So hat Tschermak (1904, S. 105) an Erbsen, Bohnen, Levkoyen und Gerstenrassen infolge von Bastardierung solche neuen Merkmale festgestellt (vgl. auch Correns 1905, S. 28). In dieser Verwirklichung von gewissen in den Eltern schlummernden Potenzen oder umgekehrt in der Latenz der bei ihnen sichtbaren Merkmale, liegt nichts Besonderes, da die gleichen Vorgänge bei künstlicher Variation zu veranlassen sind. Aber aus den Versuchen Tschermaks geht hervor, daß die neuen Merkmale gleich mehr oder minder erblich sind.

Eine noch nicht in Angriff genommene Aufgabe der Bastardlehre wird darin bestehen, die Eltern vor der Bastardierung der Einwirkung verschiedenartiger äußerer Bedingungen auszusetzen, um die Entstehung neuer Merkmale experimentell hervorrufen zu können.

B) Die Vereinigung zweier Geschlechtszellen, die der gleichen Species resp. Rasse angehören.

Die Bedeutung der gewöhnlichen sexuellen Befruchtung für die Entstehung neuer Rassen ist seit Darwin oft und eingehend besprochen

worden; unsere Kenntnisse sind allerdings noch wenig sicher. Nach den Erfahrungen der Praxis ebenso nach den jahrelangen Versuchen von de Vries treten die Mutationen als Seltenheiten unter einer sehr grossen Anzahl von Keimlingen hervor. Gehen wir von einer einigermaßen reinen Rasse aus, so müssen wir in den beiden Geschlechtszellen die gleichen Potenzen voraussetzen. Verschieden können die innern Bedingungen der beiden Geschlechtszellen sein, je nach der Verschiedenheit ihrer Entstehungs-Bedingungen, die ihrerseits von der Aussenwelt abhängig sind. Je stärker diese Verschiedenheit der Geschlechtszellen ist, um so mehr steigt die Wahrscheinlichkeit, das in dem Produkt der Vereinigung bisher schlummernde Potenzen aktiv, oder bisher an den Eltern sichtbare Merkmale wieder latent werden. Daraus ergibt sich die Methode, um ein Hauptziel der künftigen Forschung zu erreichen, nämlich künstlich Mutationen hervorzurufen. Es wird darauf ankommen, durch äussere Veränderungen die Organe, die Blüten tragen, und die Blüten selbst, zu verändern und die dann entstehenden Samen auszusäen. Wie wir sehen werden, hat Blaringhem solche Versuche gemacht; auch über einen Teil meiner Versuche werde ich berichten, wenn ich auch über diejenigen mit Samen aus veränderten *Sempervivum*-Blüten erst später Mitteilungen machen kann. Ferner hat Mac Dougal (1905, S. 30), wie er kurz erwähnt, Versuche solcher Art angestellt. Er hat stark konzentrierte Lösungen, und anderseits schwache Lösungen von Mineralsalzen in die Fruchtknoten eingespritzt. Bei *Oenothera biennis* hat er auf diese Weise ein einzelnes Individuum mit abweichenden Charakteren erhalten. Bei *Raimannia odorata* hat er nach dieser Methode eine grössere Anzahl abweichender Formen erhalten, wenn auch nicht angegeben ist, ob es sich um neue Rassen handelt. Alle solche Versuche haben bis jetzt nicht ganz entscheidende Resultate geliefert; aber der Weg erscheint als der richtige, der später zum Ziele führen wird.

C. Die Vereinigung von vegetativen Zellen verschiedener Arten bei der Pfropfung.

Die vielumstrittene Frage nach dem Vorkommen von Pfropfbastarden scheint doch jetzt wirklich bejaht werden zu können, nachdem Noll (1905) seine eingehenden Beobachtungen über die Pfropfbastarde von *Crataegus monogyna* und *Mespilus germanica* bekannt

gemacht hat. Wie er darlegt, kann man sich die Entstehung dieser Bastarde nur durch eine innige Durchdringung und Vermischung der lebenden Zellenhalte verständlich machen. Eine experimentelle Erzeugung solcher Pfropfbastarde erscheint zunächst sehr aussichtslos.

D) Die Bildung von Knospenvariationen.

Aus der gärtnerischen Praxis ist es bekannt, daß an einer Pflanze einzelne Zweige plötzlich auftreten, die durch neue Merkmale ausgezeichnet sind und zum Ausgangspunkt neuer Rassen werden können (Darwin 1868, S. 373; Bailey 1896, S. 89 u. a.). Allerdings hebt de Vries (1903, S. 680) mit Recht hervor, daß nur wenig sichere Tatsachen für die Entstehung solcher „vegetativer Mutationen“ vorliegen, die auch durch Samen ihre Charaktere vererben. Ein interessantes Beispiel erblicher Knospenmutation führt Wettstein (1904, S. 514) an, der von einem zufällig gefundenen fasciierten Zweig des *Sedum reflexum* ausging. Die daraus gewonnene Pflanze lieferte nach Selbstbefruchtung Nachkommen, die fasciiert waren und auch in weiteren Generationen die Anomalie vererbten. Die Hauptfrage nach der Entstehung der ersten Fasciation war allerdings nicht zu beantworten.

Immerhin ist die Möglichkeit gegeben, solche starke vegetative Umänderungen künstlich herbeizuführen und ihren Erblichkeitsgrad zu prüfen. Meine eigenen Untersuchungen mit *Veronica* beruhen auf dieser Methode. Im Prinzip fallen solche Versuche mit denen bei B besprochenen zusammen; nur kommt bei den Knospenvariationen die Vermehrung auf vegetativem Wege besonders in Betracht.

Es eröffnen sich schon heute mehrere Wege, experimentell die Bildung erblicher Charaktere zu veranlassen. Aber niemand wird sich verhehlen, daß Schwierigkeiten aller Art den Versuchen entgegenstehen, und Erfolge nur sehr langsam eintreten können. Die Hauptfrage selbst: erblich oder nicht, ist noch unklar und vieldeutig, weil es ganz verschiedene Grade der Erblichkeit gibt. Die Untersuchungen von de Vries haben auch in dieser Beziehung neue Grundlagen geliefert.

Der Erblichkeitsgrad wird im allgemeinen danach beurteilt, wie sich das Merkmal bei den Nachkommen unter den „mittleren“ Gartenbedingungen verhält. In der Unbestimmtheit dieser Kulturbedingungen

liegt von vornherein eine grofse Schwierigkeit für die richtige Beurteilung. Denn wenn wir bei einer Gartenvarietät die in der freien Natur vorhandenen Aufsenbedingungen als Mafsstab anlegen, so bekommen wir gewifs einen anderen Grad der Erblichkeit, der auch wieder schwankt, weil die Bedingungen im Freien je nach dem Standort sehr variieren. Sehr interessante Resultate hat Krasan (1903) in dieser Beziehung mit seiner Methode der „reciproken“ Kultur gewonnen. *Viola odorata*, die auf den Standort der *V. collina* (felsiger Dolomit) versetzt wurde, zeigte eine auffallende Annäherung an *collina*; wurde die *V. odorata* auf Heidegrund verpflanzt, so näherte sie sich auffallend der *V. hirta* (l. c. S. 147). Stöcke von *Chrysanthemum heterophyllum*, die aus Vorderplawatsch nach Graz auf Kulturboden versetzt wurden, lieferten Pflanzen von der Form des *Ch. Leucanthemum* (l. c. S. 132, siehe auch die weiteren Beispiele *Scabiosa*, *Knautia* u. a.).

Für die wilden Pflanzen gilt in der Tat die gleiche Abhängigkeit von ihrer Umgebung wie für die Gartenform, wenn auch noch vielfach an eine von der Aufsenwelt unabhängige Konstanz geglaubt wird. Die Konstanz einer Species besteht immer nur in ihrem konstanten Verhältnis zu einer gewissen Beschaffenheit der Aufsenbedingungen. Man erkennt das noch nicht genügend an, weil die Variationsbreite für die einzelnen Species noch viel zu wenig erforscht und berücksichtigt worden ist. Naegeli (1884, S. 238) legte ein sehr grofses Gewicht auf die Tatsache, dafs bei Hieracium-Arten, die von allen möglichen Standorten der Alpen nach München versetzt worden waren, in jahrelangen Kulturen sich die geringsten erblichen Merkmale als beständig erwiesen. Nach meiner Meinung beweist das nichts weiteres, als dafs die zufällig vorhandenen Bedingungen des Münchner Gartens nicht für stärkere Veränderungen ausreichten. Nicht eine einzige Species ist wirklich auf ihre Veränderungs-Möglichkeiten geprüft worden, was auch bei einer gleichzeitigen Kultur von 2500 Arten in 4450 Nummern unmöglich war.

De Vries hat dagegen die Kulturbedingungen immer in Rechnung gezogen, ihren Einflufs auf die Ausbildung der Merkmale sorgfältig studiert, aber die Sache in ihrer ganzen Bedeutung noch nicht genügend gewürdigt. Besonders wertvoll für die Erblichkeitsfrage ist seine Unterscheidung der Zwischenrassen, der sog. Halb- und

Mittelrassen. Unter einer Halbrasse versteht er eine solche, bei der das besondere Merkmal, die Anomalie, gegenüber dem normalen Merkmal nur bei einer Minderzahl der Individuen auftritt. Bei einer Mittelrasse halten sich abweichendes und normales Merkmal ungefähr das Gleichgewicht (de Vries I, 422; II, S. 640). Im allgemeinen machen solche Rassen den Eindruck großer Inkonstanz. Aber de Vries hebt hervor, daß sie doch ebenso als konstant zu betrachten seien wie andere Varietäten. Ihre Erbzahl, d. h. die Zahl der veränderten Individuen unter 100 Nachkommen, ist ihr charakteristisches konstantes Merkmal. Bei Halbrassen beträgt die Erbzahl nur wenige Prozente, bei einer Mittelrasse 50%. Eine Umwandlung der Halb- in eine Mittelrasse gelingt im allgemeinen weder durch Zuchtwahl noch gute Ernährung.

Aber diese Angaben können eben nur gelten für die von de Vries benutzten Kulturbedingungen. Denn wenn eine Species an einzelnen Individuen eine Anomalie hervorzubringen vermag, so müßte, sobald wir wirklich die Bedingungen dafür kennen würden, diese Anomalie auch in größerer Menge hervorgerufen werden können. Nun kann man sagen, daß sei bisher praktisch nicht möglich gewesen. Aber es ist doch sehr wahrscheinlich, daß es für gewisse Fälle später gelingen wird. Jedenfalls muß man im Auge behalten, daß Halb- und Mittelrassen einen richtigen Sinn haben nur unter der Voraussetzung gewisser Außenbedingungen.

Die konstanten Ganzrassen verhalten sich nicht anders. Schon aus bekannten Erfahrungen der praktischen Kultur, wie aus den Beobachtungen von de Vries muß man schließen, daß sie je nach der Kombination der Bedingungen, das Verhalten einer Mittel- oder Halbrasse zeigen, oder mehr oder minder in typische Formen zurückschlagen können. Das kann andererseits niemals als ein Beweis gegen das Vorhandensein einer Erbllichkeit angeführt werden.

Nehmen wir einigermaßen gleichartige Kulturbedingungen an, so sind Halb-, Mittel- und Ganzrassen verschiedene Dinge; die bestimmten Merkmale dieser Rassen werden in sehr verschiedenem Grade durch die gleiche Außenwelt zur Verwirklichung gebracht. Bei denselben Außenbedingungen wird z. B. die Potenz zur Petalodie schwer, leicht oder sehr leicht verwirklicht, oder man kann sagen, das Merkmal

ist schwach, mäßig oder stark erblich. Worauf das beruht, ist unbekannt.

Sehr wahrscheinlich gibt es aber noch andere Grade der so charakterisierten Erblichkeit, für deren Unterscheidung die Schwierigkeit, gleichmäßige Außenbedingungen während längerer Zeit zu schaffen, immer größer wird. Am schwierigsten liegt die Sache für die allerersten Erblichkeitsstufen, weil hier Nachwirkungs-Erscheinungen vorhergehender Kultureinflüsse mitspielen, die, wie auch Pfeffer (1901, S. 245) hervorhebt, bereits eine gewisse Erblichkeit vorstellen (vgl. Klebs 1903, S. 152), und die man erst durch Kultur in mehreren Generationen prüfen muß.

Zwischen dem Zustand der bloßen Potenz eines Merkmales, d. h. der Entwicklungsmöglichkeit infolge einer gegebenen Struktur des Organismus und dem Zustand der Sichtbarkeit infolge erblicher Übertragung liegen zahlreiche abgestufte, vermittelnde Zustände. Diese hängen irgendwie mit der jeweiligen inneren Beschaffenheit der Zellen zusammen. In dem einen Extrem wird nur durch kräftige Wirkung eines bestimmten, eng begrenzten Komplexes äußerer Bedingungen die innere Beschaffenheit für die Aktivierung des Merkmales herbeigeführt; mit der Veränderung dieser Einflüsse sinkt das Merkmal in den Zustand der bloßen Potenz zurück.

Bei stärkerer Einwirkung auf die Zellen, vor allem zu einer geeigneten Zeit, bleibt auch nach Verschwinden der äußeren Einflüsse etwas zurück — eine Nachwirkung oder wie es Semon (1904, S. 31) bezeichnet, eine engraphische Wirkung. Dann kann das Merkmal unter anderen, im allgemeinen weiter schwankenden, Außenbedingungen seine Aktivierung erfahren. Man kann sich auch so ausdrücken: es ist durch die äußere Einwirkung eine innere Disposition geschaffen, die ein leichteres Sichtbarwerden des Merkmales möglich macht. Diese Disposition kann bei vegetativer Vermehrung vererbt, aber bei sexueller noch leicht verloren gehen; sie kann aber so gesteigert sein, daß sie auch durch Samen vererbt wird, d. h. stets unter den gewöhnlichen, mittleren Kulturbedingungen bei den Nachkommen zur Aktivierung des Merkmales führt. In solchen Fällen ist das andere Extrem erreicht; es gehören dann besonders kräftige Einwirkungen bestimmter äußerer Bedingungskomplexe dazu, um die Disposition zu schwächen, oder das

Merkmal wieder in den Zustand der bloßen Potenz zu versetzen. Bei den weiter unten zu beschreibenden Versuchen handelt es sich gerade um die Steigerung der Disposition für ein bestimmtes Merkmal.

Bevor ich auf meine eigenen Untersuchungen eingehe, will ich die Erfahrungen von Blaringhem besprechen, der, wie ich früher erwähnte (s. S. 95) nach Entfernung des Hauptsprosses die Bildung verschiedener Anomalien beobachtete. Blaringhem gibt nun auch an, daß solche Anomalien sich auf die Nachkommen vererbt haben. Als Beispiel werden Versuche mit dem Mais angeführt (Oktober 1904). Von einer Maispflanze, deren Hauptsproß entfernt war, und die einen neuen Trieb gebildet hatte, wurden aus der endständigen männlichen resp. hermaphroditen Infloreszenz 60 Samen gesammelt. Von diesen wurden 28 Stücke gewonnen, in denen 20 wieder die Anomalien der Kulturpflanzen, d. h. weibliche Blüten in den männlichen Ähren zeigten. Die ursprüngliche Maisrasse zeigte ohne Verletzungen Anomalien nur etwa 3—5 auf 1000. Ein zweiter Fall wird Februar 1905 angeführt. Nach Entfernung der Hauptsprosse traten wieder weibliche Blüten an männlichen Ähren auf. Die Früchte lieferten 1903 75 % Nachkommen mit der gleichen Anomalie, 1904 50 %.

Nach den bekannten Erfahrungen mit dem Mais und nach den Angaben von Blaringhem hatte er es mit einer Halbrasse zu tun, deren Merkmal nach der Verwundung viel stärker ausgebildet wurde und deren Nachkommen zu einer Art Mittelrasse geworden waren. Da nur je ein einziges Exemplar vorlag, so weiß man nicht, ob es nicht gerade den Charakter einer solchen Mittelrasse bereits besessen hatte, im Falle sie sich überhaupt bei längerer Kultur als eine solche erweist.

In einer andern Mitteilung (November 1905) berichtet Blaringhem über Versuche mit einer Maisvarietät, die selten Ende Oktober reife Früchte bringt. Nach Entfernung des Hauptsprosses entstanden 1903 Sprosse, die ihre Früchte Ende September bildeten. Früchte solcher Pflanzen lieferten 1904 Nachkommen, die bereits Ende August fruchteten. Das schnelle Wachstum, die Beschleunigung der Blütezeit um mehrere Wochen, schlankerer Habitus, kürzere Ähren zeichnen die Rasse aus, die sich auch 1905 in gleicher Weise erhielt, abgesehen davon, daß noch andere kleinere Anomalien auftraten. Hier wäre also eine neue Rasse entstanden. Bei der Kürze der vorliegenden Berichte ist es

schwer, ein Urteil darüber zu fällen, da man nicht erfährt, in welcher Weise die spätfruchtende Originalrasse geprüft worden ist; unter dieser könnten auch ohne Verletzung einzelne früher blühende Individuen vorkommen. Hoffentlich wird Blaringhem bald eine ausführlichere Darstellung seiner unter allen Umständen interessanten Versuche geben.

Versuche mit *Veronica chamaedrys*.

Meine eigenen Versuche wurden 1902 begonnen; eine Zeit lang glaubte ich bereits ein sicheres Resultat erlangt zu haben, so daß ich einen Vortrag darüber August 1904 in Cambridge in der Versammlung britischer Naturforscher hielt. Aus diesem Vortrag stammt die Bemerkung Reinkes (1905, S. 140) über meine Versuche. Ich habe damals die Veröffentlichung unterdrückt, um die Sache noch mehr zu prüfen. Ich will jetzt einen Bericht darüber geben und die nötige Kritik daran knüpfen.

Mein Plan war von vornherein, für die Frage Pflanzen zu benutzen, die bisher nicht im eigentlichen Sinne kultiviert worden waren, um wenigstens einigermaßen die mit Kulturvarietäten verbundenen Fehlerquellen auszuschließen. Die Pflanzen durften auch in der freien Natur keine häufigen Anomalien zeigen. Daher schien mir *Veronica chamaedrys* besonders geeignet, da sie nie wirklich kultiviert worden ist und da sie keine besondere Tendenz zu Anomalien aufweist. Denn, obwohl sie zu den gemeinsten in ganz Europa vorkommenden Gewächsen gehört, so ist die Zahl der Anomalien auffallend gering. Penzig (1894, II, S. 213) hat in seinem dankenswerten Werk die Angaben gesammelt; es wurden von Al. Braun eine terminale Infloreszenz und Vergrünung der Blüten, von Engelmann und Martinis Durchwachsungen erwähnt. Variationen in der Zahl der Blütenglieder sind mehrfach beobachtet, auch eine Petalodie der Staubblätter von Camus. Hinzuzufügen ist eine neuere Angabe von Gagnepain (1897), der eine verzweigte Infloreszenz mit Erythrimus, eine Phyllodie der Krone und phyllodiale Neigung der Geschlechtsblätter beschreibt. Die vegetative Metamorphose der Infloreszenz scheint auffallenderweise niemals beobachtet worden zu sein.

Die *Veronica chamaedrys* erscheint in der freien Natur in mancherlei Abarten (vgl. Ascherson 1892, S. XVII), von denen die Flora von Ost- und Westpreußen (Abromeit 1903, S. 614) eine gute Uebersicht gibt. Neben Individuen mit weissen und rosaroten Blüten werden folgende Formen erwähnt: *umbrosa* mit gestielten, oberen Stengelblättern, *pilosa* mit ringsum behaartem Stengel, *incisa* mit tief eingeschnittenen Blättern, *glabrescens* mit fast kahlen, kleingesägten Blättern, *nitens* mit oberseits glänzenden Blättern. Ob es sich hier um einfache Standortmodifikationen oder wirkliche Rassen handelt, ist nicht näher untersucht worden.

Die Versuche nahmen ihren Anfang Frühjahr 1902, wo eine Anzahl Triebe mit jungen Infloreszenzen teils in Nährlösung, teils in Erde, teils im Gewächshaus, teils bei schwächerem Licht (s. S. 69) gehalten wurden. Nach Eintritt der vegetativen Metamorphose, der Verlaubung, wurden die beblätterten Enden der Infloreszenzen abgeschnitten, und am 30. Juni in ein Mistbeet gesetzt; ich verwendete 10 solcher Infloreszenzen, deren Muttertriebe vollkommen typisch ausgebildet waren. Gleichzeitig pflanzte ich 10 Stöcke der *Veronica*, die zu solchen Versuchen gedient hatten, ohne dafs ich aber mehr die Herkunft der verlaubten Infloreszenzen genau angeben kann, ebenfalls in ein Mistbeet, und im Herbst in das Freiland. Wie schon früher bemerkt (s. S. 70), blühten diese Stöcke 1903 wie 1904 ohne Anomalien vor allem ohne Metamorphose der Infloreszenzen.

Die Pflänzchen, die aus den Enden der verlaubten Infloreszenzen stammten, wurden Anfang Oktober in ein neues Beet versetzt, das ich als Feuchtbeet kurz bezeichnen will. Es blieb unter Glas bis Anfang Mai, und wurde während der Winterkälte gedeckt, so dafs die oberirdischen Triebe nicht abstarben, wie im Freilande. Von Mai bis Anfang August wurden die Glasfenster fortgenommen, so dafs keine feuchte Luft über den Pflanzen herrschte. Im August wurde die alte Erde durch neue, gut gedüngte ersetzt, auch wurden die Glasfenster heraufgelegt, nur am Tage gelüftet, bis wieder zum Mai des folgenden Jahres. Im Frühjahr 1903 waren die 10 Pflänzchen zu kräftigen Stöcken herangewachsen, die reichlich im Mai blühten, und zum Teile Infloreszenzen entwickelten, welche nach Bildung normaler Blüten die vegetative Verlaubung zeigten. In der folgenden Tabelle bezeichne

ich 10 Pflanzen mit zufällig gegebenen Buchstaben, und führe die Zahl der metamorphosierten Infloreszenzen an.

Pflanze B unter 80 Infloreszenzen, ¹⁾ 0 metamorphosiert							
„	C	„	100	„	22	„	22 %
„	E	„	106	„	0	„	.
„	H	„	163	„	57	„	35 %
„	I	„	146	„	0	„	.
„	K	„	130	„	14	„	10,7 %
„	U	„	229	„	2	„	0,8 %
„	N	„	336	„	4	„	1,2 %
„	P	„	221	„	31	„	14 %
„	T	„	200	„	3	„	1,5 %

Gegenüber den seit Herbst im Freiland wachsenden Pflanzen war das Auftreten der Metamorphose an den Nachkommen der metamorphosierten Infloreszenzen immerhin auffallend. Unter den 10 Exemplaren war der Vorgang bei 7 eingetreten, allerdings in sehr verschiedenem Grade. Um die Sache weiter zu prüfen, wählte ich 3 Exemplare aus, und zwar C, H, K, deren Verhalten einzeln für sich zu betrachten ist, da es bei jedem verschieden war.

Pflanze *Veronica chamaedrys*, Rasse K.

Dieses Individuum zeichnete sich durch auffallend große Blätter aus, so daß ich es in meinen Notizen als *grandifolia* benannte. Ein Stück von ihm verblieb im Feuchtbeet, ein anderes wurde Mai 1903 in ein gut gedüngtes Freibeet versetzt, an welcher Stelle es bis jetzt verblieb.

Sommer 1904:

Freibeet	773	Infloreszenzen	alle	ohne	Metamorphose
Feuchtbeet	261	„	7	mit	„
					2,6 %

¹⁾ Die Zahl der Infloreszenzen war hier nicht genau bestimmt, weil Stücke der Pflanze zu anderen Versuchen gedient hatten.

Sommer 1905:

Freibeet viele hunderte Infloreszenzen ohne Metamorphose

Feuchtbeet 319 " " "

Ein Stück der Pflanze vom Feuchtbeet 18. Juli 1904 in ein Freibeet versetzt.

Sommer 1905: 586 Infloreszenzen ohne Metamorphose.

Bei diesem Individuum war demgemäß die anfangs als Nachwirkung (?) vorhandene Disposition unter den Bedingungen des Feuchtbeetes Metamorphosen hervorzubringen, anscheinend verloren gegangen; für die Bedingungen des Freibeetes war sie von Anfang an nicht vorhanden gewesen. Von einer der metamorphosierten Infloreszenzen (Sommer 1904) gewann ich ein paar Samen, und von diesen 3 Keimlinge. Sie wurden am 11. August 1904 ausgesät, am 27. September 1904 in das Feuchtbeet gepflanzt, am 13. März 1905 in das Freibeet. Im Sommer 1905 blühten die jungen Pflanzen:

- a) mit 68 Infloreszenzen normal
- b) " 106 " 7 metamorphosiert
- c) " 107 " 4 "

Die Metamorphose war also an 2 unter 3 Keimlingen aufgetreten. Der eine Keimling zeichnete sich dabei durch eigentümlich gefaltete, und an der Basis unsymmetrische Blätter aus, so daß ich ihn als *crispa*-Form bezeichnete.

Pflanze *Veronica chamaedrys*, Rasse H.

Der ursprüngliche Muttertrieb stammte von einer wildwachsenden Pflanze, die am 26. April 1902 in das Victoriahaus gestellt worden war; er wurde am 5. Mai in 0,2% Knopflösung an ein Südfenster gestellt; eine der dabei metamorphosierten Infloreszenzen war die Stammpflanze von H. Von dem Stock im Feuchtbeet Frühjahr 1903 wurde ein Stück am 23. Mai des gleichen Jahres in ein Freibeet versetzt; es blieb an gleicher Stelle bis heute.

Sommer 1904:

Freibeet	261	Infloreszenzen,	26	metamorphosiert,	10 %
Feuchtbeet	126	„	19	„	15 %.

Sommer 1905:

Freibeet	1283	Infloreszenzen,	1	metamorphosiert,	0,08 %
Feuchtbeet	442	„	116	„	26 %.



Fig. 28.

Veronica chamaedrys, Rasse H.
(Natürliche Größe.)

Das Ende einer verlaubten Infloreszenz;
unterhalb des Laubtriebes noch ein
Seitentrieb mit Früchten. Gezeichnet
2. August 1905.

Der Teil der Pflanze, der also an der gleichen Stelle seit 1903 gewachsen war, zeigte im 2. Jahre infolge großer Erschöpfung des Bodens so gut wie keine Metamorphosen; der Teil der im frisch gedüngten Feuchtbeet befindlichen Pflanze näherte sich dem Verhalten von 1903. Der entscheidende Einfluss der Außenbedingungen geht auch aus anderen Versuchen hervor:

a) Stück der Pflanze aus dem Feuchtbeet am 9. März 1905 in das Freibeet gesetzt

Sommer 1905: 248 Infloreszenzen,
67 metamorphosiert, 27 %.

b) Trieb mit metamorphosierter Infloreszenz 12. Juli 1904 in das Feuchtbeet gesetzt

Sommer 1905: 106 Infloreszenzen,
66 metamorphosiert, 40 %.

Hier war also eine Steigerung der Anomalie eingetreten.

c) Stück der Pflanze vom Feuchtbeet am 13. Juli 1904 in ein Freibeet gesetzt

Sommer 1905: 116 Infloreszenzen, nur 2 metamorphosiert, 1,7 %.

Bei diesem Stock war durch das lebhaftes Wachstum im Freiland während des Hochsommers 1904 bereits diejenige Veränderung des

Bodens eingetreten, die im Frñhjahr 1905 die Verlaubung der Infloreszenzen stark hemmte.

Die Versuche des Sommers 1906 bestätigten die der früheren Jahre; es trat Verlaubung im Feuchtbeet ein, dagegen nicht bei den alten Stöcken im Freibeet. Am 22. Juli 1905 setzte ich 10 Stecklinge der alten Pflanzen in das Feuchtbeet und am 18. September in ein Freibeet. Im Frñhjahr 1906 zeigte sich an allen Exemplaren wieder die Verlaubung in wechselndem Grade.



Fig. 29. Sprossende Blüten von *Veronica chamaedrys*, Rasse H.

Teile zweier verlaubter Infloreszenzen. — I Die Spitze einer Infloreszenz mit 2 Endblättchen und einem Seitenzweig, der aus einer sprossenden Blüte besteht. — II Stück unterhalb der Spitze einer verlaubten Infloreszenz auch mit einer sprossenden Blüte. — Etwas vergrößert.

Gegenüber der Pflanze K stellt die Pflanze H eine Art von Halb-
rasse vor, bei der das wesentliche Merkmal, die in einen Laubtrieb sich
umwandelnde Infloreszenz, nur bei einem Teil der Triebe erscheint und
zwar unter gewissen, im allgemeinen günstigen Wachstumsbedingungen.
Es ist sehr möglich, daß bei bestimmter Herstellung solcher Be-
dingungen die Zahl der metamorphosierten Infloreszenzen zunehmen wird.
Man darf nun vielleicht sagen: Die Halbbrasse ist auf rein vegetativem
Wege entstanden anscheinend infolge der künstlichen Metamorphose
unter eng begrenzten Bedingungen; sie zeigt als ihr charakteristisches

Merkmal die Fähigkeit, die gleichen Metamorphosen zu erzeugen unter anderen und zwar weiteren Bedingungen.

Die Pflanze besitzt im übrigen die typischen Eigenschaften der Art. Die Metamorphose kann wie bei den Experimenten (s. S. 70) bald mehr plötzlich (Fig. 28) bald allmählicher stattfinden. Im letzteren Falle beobachtet man hin und wieder Sprossungen der Blüten (s. Fig. 29, I—II).

Von mehreren metamorphosierten Infloreszenzen wurden im Sommer 1904 einige Samen gesammelt und am 28. Juli ausgesät. 35 Keimlinge wurden am 27. September 1904 in das Feuchtbeet gepflanzt und hier überwintert. Ein Teil (12 Stück) wurde am 15. März 1905 in das Freibeet gesetzt und gelangte Sommer 1905 zur Blüte. Ich ordne die 12 Sämlinge nach den von mir gegebenen Nummern

Sämling 1	mit 67	Infloreszenzen,	3 verlaubt,	4,4 %
„ 2	„ 32	„ 25	„ 78 %	
„ 3	„ 9	„ 3	„ 33 %	
„ 4	„ 35	„ 1	„ 3 %	
„ 5	„ 68	„ 24	„ 35 %	
„ 6	„ 44	„ 0	„ 0 %	
„ 7	„ 13	„ 1	„ 7 %	
„ 8	„ 72	„ 13	„ 18 %	
„ 9	„ 64	„ 0	„ 0 %	
„ 10	„ 78	„ 9	„ 11,5 %	
„ 11	„ 42	„ 2	„ 4,7 %	
„ 12	„ 75	„ 0	„ 0 %	

Bei der Mehrzahl der Sämlinge war die Metamorphose aufgetreten, unter 12 bei 9. Eine der Pflanzen zeigte außerdem eine gelbe Panaschierung, die sich auch auf einen Teil der Infloreszenzen erstreckte. Am auffallendsten war die Pflanze Nr. 2 mit der großen Zahl der veränderten Infloreszenzen. Sie wurde besonders geprüft. Von dem ursprünglichen Stock wurden 2 Stücke 1905 und 1906 verpflanzt:

a) am 28. Juni 1905 in das Feuchtbeet, am 18. September in das Freiland:

Sommer 1906 von 100 Infloreszenzen 41 verlaubt, 41 %.

b) am 5. März 1906 in ein anderes Beet des Freilandes:

Sommer 1906 von 244 Infloreszenzen 10 verlaubt, 4 $\frac{1}{10}$.

Ein Trieb des Sämlings Nr. 2 mit metamorphosierten Infloreszenzen wurde am 29. Juli 1905 in das Feuchtbeet gesetzt:

Sommer 1906 von 154 Infloreszenzen 136 verlaubt, 88 $\frac{1}{10}$.

Das ist der höchste Grad der Verlaubung, den ich bis jetzt in den 3 Versuchsjahren erreicht habe. Dieser Sämling verhält sich wie die Mutterpflanze, nur mit gesteigerter Disposition für die Verlaubung.

Eine 2. Gruppe von 23 Sämlingen der Pflanze H (1904) wurde am 3. Mai 1905 aus dem Feuchtbeet in das Freibeet versetzt. Sie kamen im gleichen Jahre kaum zur Blüte, sondern entwickelten sich vegetativ in außerordentlichem Maße. Nach der reichen Blüte im Frühjahr 1906 konnte ich eine Verlaubung nur in ganz vereinzelt Fällen nachweisen, der Boden war dazu schon zu sehr erschöpft. Unter den Sämlingen fiel einer als besonderer Mutant auf, da die Blüten fast weiß waren. Über die Beständigkeit dieser anscheinenden Mutation habe ich noch kein Urteil.

Pflanze *Veronica chamaedrys*, Rasse C.

Die Infloreszenz war mir nach ihrer Metamorphose bereits etwas aufgefallen; sie saß an einem typisch gebauten Laubtrieb, der neben anderen am 27. April 1902 als Steckling in Erde unter einer Glocke im Gewächshaus nach der üblichen Methode behandelt wurde. In meinem früheren Werk (1903, S. 74, Fig. 13 B) ist die metamorphosierte Infloreszenz abgebildet worden; ich gebe in Fig. 30 das gleiche Bild. Mir fiel auf, daß das erste typische Laubblatt wie aus 2 zusammengesetzt war. Nach Bewurzelung des Endes trat normale Blattbildung ein; die Pflanze entwickelte sich kräftig und erzeugte bereits im gleichen Herbst einige typische Infloreszenzen. Meine Hoffnung, etwas besonderes zu erhalten, schien getäuscht zu sein.

Im Feuchtbeet blühte die Pflanze mit dem oben angegebenen Resultat, d. h. unter 100 Infloreszenzen 22 metamorphosierte. Aus



Fig. 30.

Veronica chamaedrys, Rasse C.

Verlaubte Infloreszenz; entstanden an einem Triebe, der als Steckling in Erde feucht im Gewächshaus seit 27. April 1902 kultiviert wurde. Gezeichnet 16. Juni 1902. Die verlaubte Infloreszenz für sich am 30. Juni in Erde, am 4. August in ein Beet unter Glas gepflanzt. Aus dieser Infloreszenz ging die Rasse C hervor.

Interesse an der Pflanze hatte ich vor dem Blühen eine Anzahl Stecklinge am 4. März 1903 im Warmbeet kultiviert und am 1. Mai in das Freibeet gesetzt. Hier wuchsen die Stöcke sehr kräftig und fingen zu einer für die *Veronica chamaedrys* ungewöhnlichen Zeit (im Juli) zu blühen an. Sie zeigten sich auffallend verändert; besonders folgende Eigentümlichkeiten charakterisierten die Pflanzen:

1. Zerstreute Blattstellung, Zwangsdrehung meist an den blühenden Trieben.

Die nicht blühenden Triebe erschienen normal, während die blühenden oder sonst kräftigen, aber bis zum Herbst nicht mehr zur Blüte gelangenden zerstreute Blattstellung aufwiesen, ein Charakter, der bisher niemals bei *Veronica chamaedrys* beobachtet worden ist; die dekussierte Stellung scheint ungemein konstant zu sein. Unter 173 blühenden Trieben waren im Herbst 1903 130 mit zerstreuter Blattstellung d. h. 75%. Unter diesen 130 zeigten 52 ausgesprochene Zwangsdrehung (Fig. 31, II vor der Entwicklung der Blüten).

Nach der ausgezeichneten Bearbeitung der Zwangsdrehungen durch de Vries (1891; ferner 1903, S. 568) brauche ich hier nicht

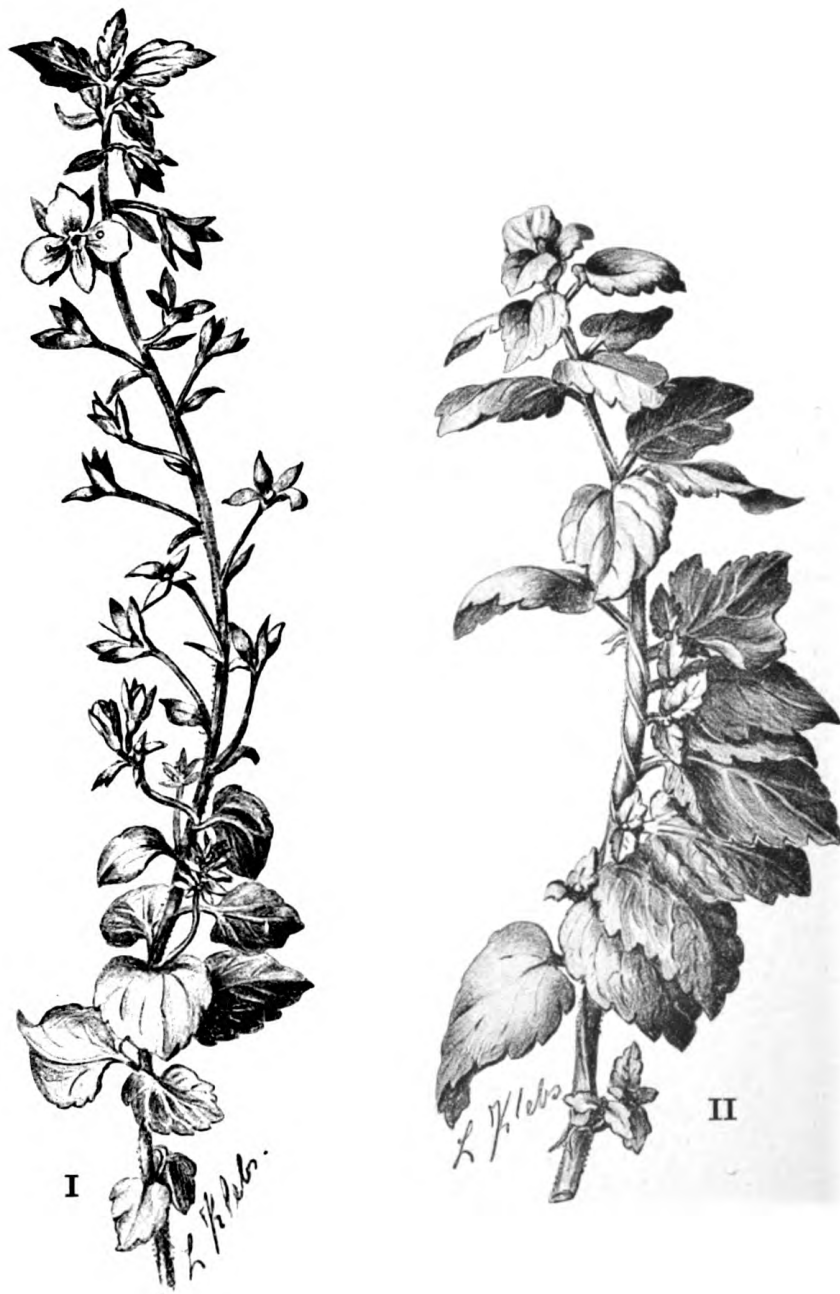


Fig. 31 *Veronica chamaedrys* Rasse C.

I. Trieb mit zerstreuter Blattstellung, terminaler und am Ende verlaubter Inflorescenz, an der Basis mit einigen kleinen seitlichen Inflorescenzen. II. Trieb mit ausgesprochener Zwangsrotation, nicht zur Blüte gekommen. Beide Fig. $\frac{6}{7}$ natürliche Grösse.

ausführlich darauf einzugehen. Die Zwangsdrehung kommt bei solchen Pflanzen vor, deren normal dekussierte Blattstellung in die schraubige Stellung übergeht. Indem die schraubig angeordneten Blätter noch an ihrer Basis einseitig zusammenhängen, wird der Stengel in seiner allseitigen Streckung behindert und dreht sich so, daß die Blätter mit senkrecht gestellter Basis eine einzige Längsreihe bilden (s. Fig. 31, I). Es ist dies die von Al. Braun zuerst klar ausgesprochene Theorie, die von de Vries weiter ausgeführt und bewiesen wurde. Die nähere Untersuchung von *Veronica* hat mir die Richtigkeit dieser Auffassung auch für diese Art gezeigt. Bisher waren für die ganze Gattung *Veronica* nur je ein Fall für *longifolia*, *latifolia* und *amethystea* beschrieben, womit anscheinend stets auch eine Fasciation verbunden war (de Vries 1891, S. 185).

Die Zwangsdrehungen betrafen bald gröfsere, bald kleinere Stücke des Stengels, der unterhalb wie oberhalb solcher Stellen wieder normale Blattstellung aufwies. Der Vorgang konnte besonders im Herbst auch an Trieben auftreten, die nicht zum Blühen kamen. Immerhin steht im allgemeinen das Auftreten der Zwangsdrehung in einem gewissen Zusammenhang mit dem blühreifen Zustand der Triebe.

Sehr häufig findet eine Trennung der Basen der schraubig gestellten Blätter statt; es ergibt sich eine gewöhnliche schraubige Anordnung mit vielen Unregelmäßigkeiten, unter denen besonders die Annäherung von 3 Blättern zu einem anscheinenden Wirtel auffällt.

2. Terminale und verzweigte Infloreszenzen.

Eine terminale Infloreszenz ist bei *Veronica chamaedrys* von Al. Braun erwähnt worden (Penzig II, S. 213) eine Verzweigung von Gagnepain (1897). Verzweigte Infloreszenzen hat bei *Veronica spicata* Magnus (1886, S. 109) beschrieben. Augenscheinlich handelt es sich um sehr seltene Fälle; für eine ganze Gruppe von Arten einschliesslich *chamaedrys* sind gerade die lateralen Infloreszenzen sehr charakteristisch (vgl. Ascherson und Graebner 1898, S. 634).

Unter 173 Trieben der Pflanze C waren 58 mit terminaler Infloreszenz versehen (33%). In der Mehrzahl wiesen diese zugleich lebhafte Verzweigung auf (Fig. 32); oder diese beschränkte sich auf kleine Triebe (Fig. 31, I). Die Laubblätter gehen oft ganz allmählich

in die Hochblätter über, und beide können in ihren Achseln Infloreszenzen entwickeln. Die Blätter stehen dabei meist in schraubiger Stellung; indessen kann eine dekussierte Stellung vorkommen, so daß auch die Infloreszenzen die entsprechende Anordnung zeigen.

3. Übergang der Infloreszenz in einen Laubtrieb.

Im Ganzen trat diese Metamorphose (Fig. 31, I) nicht so häufig auf wie im Feuchtbeet. Ich zählte:

unter 190 lateralen Infloreszenzen	12 metamorphosierte
„ 134 terminalen	„ 9 „

Es fanden sich also unter 324 Infloreszenzen nur 21 metamorphosierte d. h. 6,4 %.

4. Auftreten der Blüten mit 5teiliger Blumenkrone.

Die Blüten haben durchschnittlich einen sehr konstanten Bau. Ich zählte an den Pflanzen auf den Wiesen, in den Gärten wie auch an einigen Kulturpflanzen:

5560 Blüten, darunter 7 abweichende (0,1 %), davon waren 2 verwachsene Blüten, 2 andere Blüten zeigten 3 Kronenzipfel, 1 Blüte war 8zipfelig, nur 2 zeigten 5 Kronenzipfel (0,03 %). Unter den Blüten bei Pflanze C (Juli 1903) fanden sich bei 1183 18 mit 5 Kronenzipfeln (1,5 %). In der Figur 32 finden sich 2 Blüten mit 5 teiliger Blumenkrone.

Nach allen diesen Beobachtungen schien die Pflanze C eine neue Rasse zu sein mit überraschenden, vom Typus abweichenden Merkmalen. Es kam nun darauf an, deren Beständigkeit näher zu prüfen nach Vermehrung auf vegetativem Wege, wie mit Hilfe der Samen.

Verhalten der Rasse C im Freibeet.

Sommer 1904.

Die Pflanzen verblieben auf dem ursprünglichen Standort, wobei sie das Beet mit einem dichten, fest verfilzten Rasen bedeckten. Im Mai erfolgte das sehr reichliche Blühen. Bereits im Juli verfärbten sich die Rasen der Pflanzen und nahmen rötlich gelbe Farbe an, ein Zeichen für frühzeitige Erschöpfung, zugleich eine Folge des sehr



Fig. 32. *Veronica chamaedrys*, Rasse C.

Die Infloreszenz reich verzweigt, die Laubblätter am Grunde unregelmäßig zerstreut stehend, allmählich in die kleinen Hochblätter übergehend; 2 Blüten mit 5 statt 4 Blumenblattzipfeln. — Natürl. Gr.

trockenen Sommers. Erst im Herbst zeigten sich besonders am Rande frische grüne Triebe.

Die auffallenden Charaktere waren sehr stark vermindert. Ich nahm nur einige Proben; es fanden sich:

unter 137 Infloreszenzen 6 metamorphosierte, ferner 2 mit terminalen Infloreszenzen, 3 mit Zwangsdrehung.

Gegen den Herbst hin beobachtete ich dagegen wieder häufige Anomalien. Unter 38 Blütentrieben hatten 30 zerstreute Blattstellung und unter diesen 20 deutliche Zwangsdrehung. Außerdem fanden sich 35 Triebe mit ausgesprochener Zwangsdrehung jedoch ohne Blüte, ferner 5 Triebe mit terminaler Infloreszenz.

Sommer 1905.

Die Pflanzen blieben auf der gleichen Stelle, und es wurde nur im Frühjahr etwas Maercker-Dünger herübergestreut. Die Triebe waren wesentlich normal; ich sah unter mehreren Hundert Trieben keine Zwangsdrehung, keine terminale Infloreszenz. Ich zählte z. B. 726 Infloreszenzen ohne jede Abweichung. Unter 6478 Blüten waren 26 abweichend in der Zahl der Kronenzipfel.

Der Rückschlag auf die typische Form liefs sich noch sehr viel schneller erreichen. Ein Stück der Pflanze wurde im Herbst 1903 an einen schattigen Ort gesetzt; bereits Sommer 1904 waren die Merkmale der neuen Rasse verschwunden. Ebenso wurde ein Stück im Oktober 1903 in einen Topf gepflanzt und draussen überwintert. Im Mai 1904 traten nur normale Blütentriebe hervor.

Eine Auswahl besonders anormaler Triebe wurde geprüft, indem 3 zwangsgedrehte Triebe als Stecklinge (8. Oktober 1903) im Warmbeet kultiviert und am 23. April 1904 ins Freiland gesetzt wurden. Es traten wieder einige Metamorphosen auf, ferner gegen den Herbst hin 46 Triebe mit deutlicher Zwangsdrehung. Im Sommer 1905 waren 592 Triebe mit 1903 Infloreszenzen normal; keine Metamorphose, nur 3 Triebe mit geringer Zwangsdrehung. Von den Stecklingspflanzen nahm ich am 9. Mai 1904 einen zwangsgedrehten Trieb als Steckling in das Warmbeet und setzte ihn am 2. Juni ins Freiland. Im Herbst zeigten sich 14 kräftige Triebe, darunter 7 mit deutlicher Zwangsdrehung.

Verhalten der Rasse C im Feuchtbeet.

Sommer 1904.

Ein Stück der ursprünglichen Pflanze lieferte 164 Infloreszenzen, darunter 4 metamorphosierte, d. h. 2,3 % — also auch hier deutliche

Abnahme gegenüber 1903 (22 %); keine terminale Infloreszenz oder Zwangsdrehung. Von dieser Pflanze kam am 22. April 1904 ein Steckling ins Warmbeet, dann am 21. Mai in ein frisch gedüngtes Feuchtbeet. Gegen den Herbst hin traten kräftige Triebe hervor in der Zahl von 52; unter diesen waren 42 mit deutlicher Zwangsdrehung versehen und unter diesen 10 mit Infloreszenzen.

Sommer 1905.

Die Pflanze hatte sich im Frühjahr noch mehr ausgebreitet; es fanden sich

unter 500 Trieben 47 mit Zwangsdrehung, 9,4 %
 „ 892 Infloreszenzen 3 mit Verlaubung, 0,3 %.

Von der Pflanze wurde am 3. November 1904 ein Trieb mit Zwangsdrehung in das Feuchtbeet gesetzt. Im Frühjahr 1905 fanden sich:

17 Triebe ohne Zwangsdrehung,
 32 Infloreszenzen, darunter 14 verlaubte, 43,7 %.

Die Pflanze C, die durch Metamorphose der Infloreszenz eines anscheinend typischen Triebes entstanden ist, verhält sich wie eine neue Halbbrasse, bei der zum Unterschied von der Pflanze H als charakteristische Merkmale neben der Verlaubung noch Zwangsdrehung und terminale Infloreszenz vorhanden sind. Alle diese Merkmale verschwinden bei ungünstigen Ernährungsbedingungen, sie erscheinen wieder bei günstigeren. Aber der Ausbildungsgrad der Merkmale wie im Sommer 1903 ist bisher nicht mehr erreicht worden; allerdings wurden auch nicht genau die gleichen Versuchsbedingungen angewandt, was schon daraus hervorgeht, daß die Blütezeit nicht im Juli wie 1903, sondern im Mai stattfand.

Die drei wesentlichen Merkmale verhalten sich augenscheinlich verschieden; am leichtesten verschwindet die terminale Infloreszenz, während die Zwangsdrehung und die Metamorphose der Infloreszenz in ungleichem Grade je nach den Kulturversuchen auftreten. Es wird die weitere Aufgabe sein, die Bedingungen für jedes der Merkmale bestimmter zu erkennen.

Fortpflanzung der Rasse C durch Samen.

Im Hochsommer 1903 entstanden trotz des tüppigen Blühens nur wenige reife Früchte, die aber zweifellos durch reine Rasse-Befruchtung entstanden waren; ich sammelte einige von metamorphosierten Infloreszenzen. Die Samen wurden am 7. August ausgesät, am 7. Oktober 1903 in ein Feuchtbeet versetzt.

Ein kräftiger Sämling (1) wurde am 28. März 1904 in ein Freibeet gesetzt. Hier trat die Verlaubung ein:

unter 84 Infloreszenzen 20 metamorphosierte, 23,8 %.

Zwangsdrehung und terminale Infloreszenz fehlten.

Von diesem Sämling wurden 6 Triebe, die verlaubte Infloreszenzen gebildet hatten, am 23. Juni 1904 in das Warmbeet gepflanzt; die daraus entstandenen Pflanzen wurden in folgender Weise behandelt:

- a) 20. Juli 1904 Feuchtbeet, 9. März 1905 Freibeet.
Sommer 1905: 554 Infloreszenzen ohne Verlaubung.
- b) 20. Juli 1904 Feuchtbeet, 8. Oktober 1904 Freibeet.
Sommer 1905: 108 Infloreszenzen ohne Verlaubung.
- c) 12. Juli 1904 Feuchtbeet, 24. April 1905 Freibeet.
Sommer 1905: 132 Infloreszenzen ohne Verlaubung.
- d) 20. Juli 1904 Feuchtbeet.
Sommer 1905: 544 Infloreszenzen, 18 verlaubt = 3 %.
- e) 12. Juli 1904 Feuchtbeet.
Sommer 1905: 26 Infloreszenzen, 6 verlaubt = 23 %.
- f) 21. Juli 1904 Feuchtbeet, 22. März 1905 Warmbeet.
Sommer 1905: 52 Infloreszenzen, 15 verlaubt = 29 %.

Dieser Sämling der Rasse C verhält sich entsprechend wie die Rasse H oder deren Sämling Nr. 2, nur daß die Zahl der verlaubten Infloreszenzen auch unter den günstigen Umständen des Feuchtbeetes relativ klein bleibt. Der Charakter der Rasse C ist, so weit er die Verlaubung betrifft, anscheinend auch hier durch Samen vererbt worden. Der Hauptstock des Sämlings blieb am gleichen Standort; er wurde Anfang

April 1905 mit einer Mischung von Maerckerschem Düngemittel und Schmiededünger bestreut. Im Mai und Juni traten höchst auffallende Veränderungen der Infloreszenzen und besonders der Blüten auf, so daß diese Triebe sehr von den Schwestertrieben aus den vorhin besprochenen Versuchen abwichen. Da entsprechende Umänderungen der Blüten auch bei anderen Sämlingen von 1903 hervortraten, so will ich die Erscheinungen für alle zusammenfassend behandeln.

Aufser dem besprochenen Sämling (1) gewann ich von Rasse C im Sommer 1903 39 Keimlinge, die Anfang Mai 1904 in das Freiland versetzt wurden und im Sommer des gleichen Jahres zur Blüte gelangten. Sie entwickelten fast allgemein typische Infloreszenzen. Unter diesen Sämlingen zeigten sich manche Verschiedenheiten; besonders war einer auffallend durch kleine rötlich violette Blüten — eine Form, (*parviflora*) die sich auch im Jahre 1906 mit den gleichen Eigenschaften erhielt. Aber die Hauptcharaktere der Rasse C fehlten den meisten Pflanzen; nur bei 3 Sämlingen beobachtete ich im Herbst 1904 zerstreute Blattstellung und auch Zwangsdrehung an einzelnen Trieben. Alle diese Sämlinge wurden Anfang April 1905 wie der erste gedüngt.

Die 40 Sämlinge von 1903, mit besonderen Nummern versehen, befanden sich seit Frühjahr 1904 auf vier Beete verteilt und hatten sich zu mächtigen Rasen (Durchmesser 50—75 cm) entwickelt. 21 Sämlinge auf zwei Beeten boten keine Veränderungen dar. Solche zeigten sich bei einem Teil der Sämlinge der beiden anderen Beete, im Sommer 1905, vor allem bei Nr. 1, 16, 18, 31, 33, in schwächerem Grade bei 20, 21, 30. Die Veränderungen, die 1905 festgestellt wurden, betrafen folgende Merkmale:

a) Die Farbe der Blüten.

Die typische Farbe der *Veronica chamaedrys* Blüte ist ein reines Blau; kurz vor dem Absterben nimmt die Farbe einen rötlich-violetten Ton an. Farbenveränderungen in der freien Natur scheinen sehr selten zu sein; eine weiß- und eine rotblühende Form sind in Ostpreußen beobachtet worden (Abromeit 1903, S. 614).

An den bezeichneten Sämlingen, die im ersten Jahre ihres Lebens (1904) normal blau geblüht hatten, traten 1905 die mannigfachsten Farbenänderungen hervor. Die ersten Blüten waren blau, dann wurden

die folgenden mehr blaurötlich oder ganz rosa, dann rot und grün oder weiß, schliesslich die späteren rein grün. Besonders bei Sämling 1 zeigte sich eine überraschende Buntscheckigkeit der Blüten: blaue mit roten Flecken, rote mit blauen oder weissen oder grünen Stellen, grüne mit rotem Rande u. s. w. Bei dem Sämling 16 und 18 überwog zeitweise das Rot, bei dem Sämling 31 das Weiss, so dass die ganzen Rasen in diesen Farben schimmerten. Allmählich gegen die Spitze der Infloreszenz hin wurden alle Blumenkronen grün.

b) Die Struktur der Blüte.

Mit der Vergrünung erfolgte auch eine stärkere Trennung der Korollenteile, die gamopetalen Blumenkrone wurde elentheropetal. Ebenso ging es mit dem Kelch, dessen Blätter mehr und mehr laubblattartig wurden und die der Blumenkrone überragten (Fig. 33, I und II). Die Staubblätter verkümmerten und bestanden nur aus einer sitzenden Anthere ohne normalen Pollen. Dann weiter an der Spitze der Infloreszenz verlängerte sich der ursprünglich herzförmige Fruchtknoten und spaltete sich an seinem Ende (Fig. 33, II. III) in laubblattartige Teile. Schliesslich entstanden im Zentrum Laubblätter, oder es sprossete ein Zweig hervor, der stärker veränderte Blüten oder Laubtriebe bildete (Fig. 33, I).

c) Die Infloreszenz.

Auch die Spitze der Infloreszenz verwandelte sich in einen Laubtrieb. Ihr ganzes Ende war dann dicht von den sprossenden Blüten und kleinen Laubtrieben bedeckt.

d) Die Blütendauer.

Die veränderten Infloreszenzen wuchsen langsamer, aber blühten sehr viel länger als im typischen Falle. Die normalen Infloreszenzen waren Anfang Juni verblüht, die veränderten blühten bis Anfang August. Die Blüten selbst dauern im normalen Falle 2 Tage, die veränderten blieben oft mehrere Wochen frisch.

e) Die Vegetationskraft der Triebe.

Es war auffallend, dass eine gewisse allgemeine Schwächung der Vegetation bemerklich war. Die Blüten erschienen kleiner, die Zipfel

der Krone deutlich schmaler. Die Triebe, selbst die, die veränderte Infloreszenzen trugen, zeigten schon im Juli, noch stärker im August gelbe Blätter, während die normalen Teile frisch grün waren. Die veränderten Triebe starben dann auch früher ab, und bei Sämling 1 vollständig samt den im Boden befindlichen Teilen. Vor allem war es

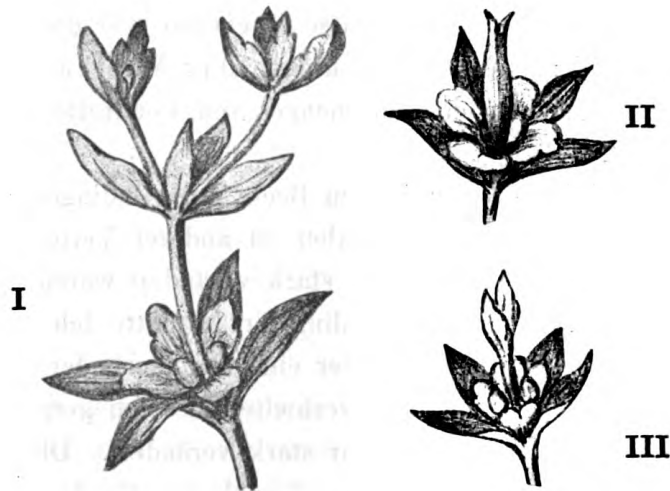


Fig. 33.

Sprossende Blüten von *Veronica chamaedrys*, Rasse C, Sämling Nr. 31.

I Untere Blüte mit 4 grünen Kelchblättern und 4 roten Blumenblättern (an der Basis kaum merklich verbunden), 2 sitzenden Antheren; statt des Fruchtknotens ein Trieb, der oben noch 4 kelchartige Blättchen trägt, aus deren Achseln 2 kleine Sprosse hervorgehen. — II Eine einzelne Blüte; Blumenblätter grün mit rotem Rande; der sonst herzförmige Fruchtknoten anormal verlängert, an der Spitze ein wenig gespalten. — III Weiteres Stadium; Blumenblätter grün laubartig; Fruchtknoten sich in 2 Laubblätter spaltend. — Alle Figuren 4 mal vergrößert.

nicht möglich Stecklinge zu machen, weil die Triebe keine neuen Wurzeln zu bilden vermochten.

Der einzige Weg, eine Vermehrung herbeizuführen, bestand darin, Stücke der Triebe mit ihren Wurzeln herauszunehmen. Auch dann starben die Pflanzen meist ab; indessen gelang es mir, von Sämling Nr. 1 einen, von Nr. 31 zwei Stücke zu erhalten. Je einer von 1 und 31 befand sich seit Juli im Feuchtbeet, der andere Stock von 31 in

einem frischen Freibeet. Alle 3 Pflanzen zeigten im Sommer 1906 wesentlich die gleichen Veränderungen, vor allem die der Farben der Blüten. Die Vergrünung war besonders stark ausgebildet bei der Pflanze des Freibeetes.

Die anscheinende Vererbung der veränderten Merkmale von 1905 auf 1906 ist von besonderem Interesse im Vergleich zu dem Verhalten der ursprünglichen Stöcke im Sommer 1906. Anfang April wurden alle 40 Sämlinge der Rasse C ebenso wie die Sämlinge der Rasse H gedüngt; pro Pflanze wurden 10 gr Maereker-Dünger und das dreifache Gewicht eines Gemenges von Poudrette und Lauberde heraufgestreut.

Nur die Pflanzen der beiden Beete mit Sämlingen von Rasse C zeigten wieder Veränderungen, aber in anderer Verteilung als 1905. Die Sämlinge 1 und 18, die 1905 stark verändert waren, erwiesen sich 1906 als normal. Von dem Sämling Nr. 16 hatte ich 1905 bereits 2 verschiedene Stöcke, von denen der eine verändert, der andere normal gewesen war. Im Sommer 1906 verhielten sie sich gerade umgekehrt; der früher normale war 1906 sehr stark verändert. Die gleiche Veränderung wie früher, nur in viel schwächerem Grade zeigte sich bei 31 und 33. Neu und sehr stark verändert waren Nr. 19 und 36, in schwächerem Grade Nr. 17, 22, 23, 29, 33—35.

Die meisten dieser Pflanzen zeichneten sich in erster Linie durch die Änderung der Blütenfarben aus; es überwog die rötliche Färbung, daneben kamen auch weißlich-violette, grün-rötliche u. s. w. Blüten vor. Dagegen die Vergrünung der Blüten, ihre Sprossung und die Verlaubung der Infloreszenz trat wesentlich nur bei Nr. 16 und 19 hervor. Es war in 2 Jahren eine gewisse Scheidung der Merkmale eingetreten, so daß es rotblühende Rasen mit fertilen Blüten gab; über das Verhalten der Samen solcher Pflanzen kann erst später berichtet werden.

Zunächst geht aus den Versuchen unzweifelhaft hervor, daß die beobachteten auffallenden Veränderungen als individuelle Variationen aufgetreten sind. Denn alle veränderten Pflanzen waren in ihrem ersten Jahre völlig typisch, ferner sind Stücke des gleichen Individuums (z. B. von Nr. 1), die unter anderen Bedingungen lebten, noch

bis heute unverändert geblieben, abgesehen von der Verlaubung der Infloreszenzen. Eine gewisse Vererbung auf vegetativem Wege konnte für ein Jahr festgestellt werden.

Die Frage nach den Ursachen dieser Veränderungen läßt sich bisher nicht beantworten. Lokale Einwirkungen von Parasiten, Tieren oder Pilzen, die an den Infloreszenzen leben, waren in keiner Weise festzustellen. Ich sah an den Infloreszenzen vereinzelte grüne Blattläuse, wie sie ebenso an normalen Trieben vorkommen. Auch das gesamte Verhalten lehrt, daß es sich um eine allgemeine Veränderung der ganzen Triebe handelt, die ihren Grund nur im Boden haben kann. Auch hier könnten Parasiten in Betracht kommen, indem sie durch Zerstörung von Geweben die gesamte Ernährungstätigkeit der Triebe beeinflussten. Ein Nachweis dafür ließe sich bisher nicht liefern. Die Triebe bestanden in ihren unterirdischen Teilen aus gesundem Gewebe: erst gegen den Hochsommer, wo sie allmählich eingingen, trat eine Zerstörung des Markes ein, und in den Höhlungen sah ich hin und wieder kleine Maden resp. Puppen.

Möglicherweise war eine zu starke Düngung des Bodens als Ursache der Veränderung mit beteiligt. Das verwendete Maercker-Pulver (chemische Zusammensetzung s. S. 102) gibt saure Lösungen. Wurden 2 gr mit 100 ccm Wasser gemischt, so enthielt die Lösung 1,53 % Salze; 10 ccm einer solchen Lösung wurden durch 0,5 ccm $\frac{1}{10}$ normal Natronlauge neutralisiert. Nimmt man Lösungen von 0,1, 0,2 u. s. w. bis 1 % Salzgehalt, so sterben die Veronika-Triebe sehr bald in den stärkeren Lösungen ab. In solchen von 0,1—0,3 % hielten sie sich lebendig, die jungen Infloreszenzen kamen zur Blüte, wenn auch die Blumenkronen besonders in 0,2 und 0,3 % kaum entfaltet verblühten. Wenn Salz- und Säurewirkung bei den auffallenden Veränderungen eine Rolle gespielt haben sollten, so müßte der Zeitpunkt Anfang April dafür mit entscheidend gewesen sein. Indessen können nur weitere Untersuchungen darüber Klarheit verschaffen.

Besprechung der Tatsachen.

Die Tatsachen, die sich aus den Versuchen mit *Veronica chamaedrys* während der letzten 3 Jahre ergeben haben, müssen unbefangen darauf-

hin untersucht werden, in welchem Grade sie die früher formulierte Frage nach einer experimentellen Erzeugung neuer Rassen beantworten.

Wenn man sich zunächst auf einen ganz skeptischen Standpunkt stellt, um nur das, was ganz sicher ist, scharf herauszuheben, so ergibt sich folgendes. *Veronica chamaedrys* gehört zu den „guten“ Species im Sinne Linnés, da sie trotz allgemeiner Verbreitung und außerordentlicher Individuenzahl in hohem Grade konstant erscheint, so daß man niemals über die Zugehörigkeit eines Individuums im Zweifel ist. Anomalien sind bisher sehr selten, Standortsformen, vielleicht auch Rassen nur in geringer Zahl beobachtet worden. In wenigen Jahren der Kultur wird diese gute, relativ sehr konstante Species eine stark variable. Die Ausgangspunkte waren nur drei zufällig ausgewählte Individuen, aus denen in der kurzen Zeit eine Menge verschiedener Formen entstanden sind, in denen verschiedenartige Potenzen zur Verwirklichung gelangten, so daß bisher nie oder sehr selten beobachtete Merkmale auftraten, wie zerstreute Blattstellung, Zwangsdrehung, terminale und verzweigte Infloreszenzen, Verlaubung von diesen, alle möglichen Farbenänderungen in den Blüten, Vergrünung der Blütenteile, Sprossungen der Blüten. Alles dieses verwirklichte sich bei einfacher vegetativer Vermehrung, während andererseits aus einer kleinen Anzahl Samen mehrere abweichende Pflanzen, wie eine panaschierte, eine kleinblütige rotviolette und eine weißviolett blühende Form, hervorgingen. Zweifellos wird bei Verwendung größerer Samenmengen die Entstehung noch anderer neuer Formen beobachtet werden.

Eine andere Frage ist es, ob und in welchem Grade die neuen Formen neue Rassen vorstellen. Schon nach meinen jetzigen Erfahrungen werden wahrscheinlich die besonders gestalteten Sämlinge (*aurca*, *parviflora*, *pallidiflora*) sich wie andere Mutanten, die de Vries beschrieben hat, verhalten. Hier aber interessiert in erster Linie das Merkmal der Verlaubung, das künstlich hervorgerufen wurde und dessen Erblichkeit geprüft werden sollte. Auf die Frage, ob diese Variation zu einem erblichen Merkmal neuer Rassen geworden ist, kann ich weder mit einem entschiedenen Ja, wozu ich anfangs neigte, noch mit einem klaren Nein antworten.

Die Pflanzen H und C, die aus verlaubten Infloreszenzen entstanden sind, machen den Eindruck von Halbrassen im weiteren Sinne des Wortes, indem das betreffende Merkmal nur unter besonders günstigen Ernährungsbedingungen bei einem Teil der Triebe erscheint. Je ein Sämling der beiden Pflanzen (bei H unter 35, bei C unter 40) zeigte deutlich das gleiche Merkmal; bei dem Sämling der Rasse H trat es stark gesteigert hervor. Ferner war das gleiche Merkmal auch bei anderen Sämlingen von H in schwächerem Grade bemerkbar.

Indessen liegen manche Schwierigkeiten vor, die die Beurteilung unsicher machen. Die 3 Triebe, von denen ausgegangen wurde, waren von vornherein in ihrem Verhalten etwas verschieden; bei Pflanze K verschwand das Merkmal der Verlaubung schnell; Pflanze H und C wichen in anderen Punkten von einander ab. Es ist nicht mehr möglich zu entscheiden, ob diese Verschiedenheit auf ursprünglich vorhandenen Rasseunterschieden beruht, oder ob sie eine Folge der Ernährungsbedingungen des Mutterstockes, oder eine Folge ungleicher Bedingungen während des Versuches war. Ich habe nicht mehr die Mutterpflanzen der 3 Triebe feststellen können, ich konnte nur nachweisen, daß keiner der 10 verschiedenen Stöcke, die zu den Versuchen über Metamorphose gedient hatten, weder 1903 noch 1904 irgend welche Anomalien darbot.

Die Behauptung, daß es sich um neue Halbrassen handele, stützt sich besonders auf die Tatsache, daß der Prozeß der Verlaubung bei den Nachkommen der verlaubten Infloreszenzen unter normaleren Bedingungen erfolgt als bei dem künstlichen Experiment. Man könnte aber einwerfen, daß eben die Bedingungen des Feuchtbeetes in jedem Falle den Prozeß hervorrufen, ähnlich wie in dem früher beschriebenen Versuch im Gewächshaus (s. S. 70), und man wird nur zugeben, daß die vorher verlaubten Infloreszenzen Pflanzen liefern mit etwas gesteigerter Disposition. Auch bei den Sämlingen war es sehr auffallend, daß sie nur bei einer Vorkultur im Feuchtbeet und dann, wenn sie nach relativ geringem Wachstum in einem frisch gedüngten Beet bald zur Blüte gelangten, die Metamorphose zeigten. Andererseits weist das Verhalten des einen genauer geprüften Sämlings der Rasse H darauf hin, daß die innere Disposition für den Prozeß im Laufe der Versuche unzweifelhaft gesteigert worden ist.

Die Rasse C war noch durch andere Merkmale ausgezeichnet, wie die Zwangsdrehung und terminale Infloreszenz. Es ist sicher, daß diese Merkmale an den Mutterpflanzen nicht ausgebildet waren, das erste Merkmal ist noch niemals, das zweite sehr selten beobachtet worden. Sie sind erst infolge des Experimentes überhaupt zur Entwicklung gekommen. Im weiteren Verlauf der Kultur verhielten sich diese Merkmale verschieden. Das Merkmal der terminalen Infloreszenz trat bisher deutlich nur in den Versuchen von 1903 auf, während die Zwangsdrehung, ähnlich wie in den Versuchen von de Vries (1903, S. 568 u. a.) an den zwangsgedrehten Rassen, unter besonders günstigen Ernährungsbedingungen erschien. Eine Vererbung der Zwangsdrehung fand nur in sehr beschränktem Maße statt; wahrscheinlich würde eine reichlichere Aussaat günstigere Resultate bringen.

Bei dem provisorischen Charakter meiner bisherigen Untersuchungen liegt es mir fern, auf eine weitere Erörterung der Erblichkeitsfragen einzugehen. Neue Untersuchungen mit *Sempervivum* und anderen Pflanzen haben neues Material gebracht, die Fragen zu prüfen; aber die Resultate können erst allmählich zu Tage treten. Doch die wesentliche Auffassung, die als leitendes Prinzip der Untersuchungen dient, möchte ich zum Schluß kurz formulieren.

Neue Rassen können dadurch entstehen, daß Änderungen der Außenbedingungen innere Veränderungen der Pflanzen herbeiführen, infolge deren je nach dem Grade und der Zeit der Einwirkung Potenzen der vorauszusetzenden Struktur als neue Merkmale sichtbar werden, sich steigern und sich in verschiedenem Grade der Erblichkeit erhalten.

Literatur.

- Abromeit siehe Flora von Ost- und Westpreußen.
- Ascherson, P., *Veronica chamaedrys* mit getheilten Blättern. Verh. Bot. Verein Brand., T. 31, 1892.
- Bailey, L. H., *The survival of the unlike*. New York 1896.
- Bary, A. de, *Morphologie und Physiologie der Pilze*. 2. Aufl. Leipzig 1884.
- Bateson, W., *Materials for the study of Variation*. London 1894.
- Beissner, L., Notiz in *Gartenflora*, 1881.
- Benecke, W., Ueber die Kulturbedingungen einiger Algen. Bot. Zeitg. 1898.
- Einige Bemerkungen über die Bedingungen des Blühens und Fruchtens der Gewächse. Bot. Zeitg. 1906.
- Blaringhem, L., Production par traumatisme d'anomalies florales dont certaines sont héréditaires. Bull. Muséum d'hist. nat., Oct. 1904.
- Sur une monstruosité du *Zea Mays tunicata* D. C. provoquée par un traumatisme. Comptes rendus, Soc. de Biologie, 10. Dec. 1904.
- Hérédité d'anomalies florales présentées par le *Zea Mays tunicata* D. C. Ebenda, 17. Dec. 1904.
- Anomalies héréditaires provoquées par des traumatismes. Compt. rend., Paris, Febr. 1905.
- Action des traumatismes sur les plantes ligneuses. Compt. rend., Soc. de Biologie, Juin 1905.
- Action des traumatismes sur la variation et l'hérédité. Compt. rend., Soc. de Biologie, Nov. 1905.
- A propos d'un mémoire de G. Klebs sur la variation des fleurs. Ebenda, Nov. 1905.
- Celakovsky, L. J., Ueber petaloid umgebildete Staubgefäße von *Philadelphus coronarius* und *Deutzia crenata*. Oest. bot. Zeitg. 48, 1898.
- Chodat, R., Sur le genre *Sempervivum*. Arch. Sc. phys. et nat. Genève, T. 20, 1888.
- Fleur des *Sempervivums*. Ebenda, T. 22, 1889.
- Correns, C., Ein typisch spaltender Bastard zwischen einer einjährigen und einer zweijährigen Sippe des *Hyoseyamus niger*. Ber. d. bot. Gesell., 1904.
- Ueber Vererbungsgesetze. Berlin 1905.

- Curtel, G., Recherches physiologiques sur la fleur. Ann. sc. nat. Sér. VIII, T. 6, 1898.
- Czapek, Fr., Biochemie der Pflanzen. Bd. I—II, 1905.
- Darwin, C., The variation of animals and plants under domestication. Vol. I—II, 1868.
- Delpino, F., Fiori doppii; Mem. Acc. Sc. Bologna, Ser. IV, V. 8, 1887.
- Eichler, A. W., Blütendiagramme. Theil II. Leipzig 1878.
- Engelmann, G., De Antholysi prodromus. Frankfurt 1832.
- Engler, A., Beiträge zur Kenntniss der Antherenbildung der Metaspermen. Jahr. f. wiss. Bot., Bd. 10, 1876.
- Fischer, H., Ueber die Blütenbildung in ihrer Abhängigkeit vom Licht und über die blütenbildenden Substanzen. Flora 1905.
- Flora von Ost- und Westpreussen, herausg. von Bot. Verein, bearbeitet von Abromeit, Jentsch und Vogel. 2. Hälfte. Berlin 1903.
- Fruhworth, Die Züchtung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen II. Berlin 1904.
- Gagnepain, F., Observations sur les dates de floraison des plantes à Cercy-la-Tour 1897. Referat. Inst. Jahr., Bd. 25, 1897, II.
- Gain, E., Recherches sur le rôle physiologique de l'eau dans la végétation. Ann. sc. nat., 7. Sér., T. 20, 1895.
- Goebel, K., Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Blätter. Bot. Zeitg. 1880 und 1882.
- Vergleichende Entwicklungsgeschichte der Pflanzenorgane. Breslau 1883.
- Beiträge zur Kenntniss der gefüllten Blüten. Jahr. f. wiss. Bot., Bd. 17, 1886.
- Ueber künstliche Vergrünung der Sporophylle von *Onoclea Struthiopteris*. Ber. d. b. Gesell., 1887.
- Organographie der Pflanzen. Jena, Bd. I, 1898.
- Godlewski, E., Zur Kenntnis der Eiweißbildung in den Pflanzen. Bull. acad. Krakau 1903.
- Gris, A., Note sur quelques cas de monstruosité observés sur le *Philadelphus coronarius*. Bull. Soc. bot. de France, 1858.
- Heinricher, E., Beiträge zur Pflanzenteratologie und Blütenmorphologie. Sitz.-Ber. Wiener Akad., I. Abt., 1883.
- Hildebrand, F., Die Lebensdauer und Vegetationsweise der Pflanzen. Englers bot. Jahr., II, 1882.
- Ueber die Zunahme des Schauapparates (Füllung) bei den Blüten. Jahr. f. wiss. Bot., Bd. 17, 1886.
- Hoffmann, H., Culturversuche über Variation. Bot. Zeitg., 1887; ferner Biol. Centralb., 1888, S. 667.

- Klebs, G., Zur Physiologie der Fortpflanzung von *Vaucheria sessilis*.
Verh. Naturf. Gesell. Basel, X, 1892.
- Die Bedingungen der Fortpflanzung bei einigen Algen und Pilzen.
Jena 1896.
- Einige Ergebnisse der Fortpflanzungsphysiologie. Ber. d. bot. Gesell.,
1901.
- Zur Physiologie der Fortpflanzung einiger Pilze. I. *Sporodinia grandis*.
Jahr. f. wiss. Bot., 1898. II. *Saprolegnia mixta*. Ebenda 1899.
- Willkürliche Entwicklungsänderungen bei Pflanzen. Jena 1903.
- Probleme der Entwicklung I—III. Biol. Centralb. 1904.
- Ueber Blütenvariationen. Jahr. f. wiss. Bot., Bd. 42, 1905.
- Koch, D. J., Synopsis der deutschen Flora. 2. Aufl., Theil I, 1846.
- Krasan, Fr., Ansichten und Gespräche über die individuelle und
specifische Gestaltung in der Natur. Leipzig 1903.
- Kraus, Gr., Ueber Stoffwechsel der Crassulaceen. Naturf. Gesell.
Halle, Bd. 16, 1886.
- Kraus, K., Untersuchungen über künstliche Herbeiführung der Ver-
laubung der Bracteen der Körbchen von *Helianthus annuus*.
Forsch. Agric. Wollny., 1880, III.
- Küster, E., Pathologische Pflanzenanatomie. Jena 1903.
- Linné, C., *Philosophia botanica*. Ed. II. Berlin 1780.
- Loew, O., Zur Theorie der blütenbildenden Stoffe. Flora. 1905.
- Stickstoffentziehung und Blütenbildung. Flora. 1905.
- Lopriore, G., Künstlich erzeugte Verbänderung infolge des Köpfens.
Ber. d. bot. Ges. 1904.
- Verbänderung infolge des Köpfens. Ebenda.
- Lotsy, J. P., Ueber die Begriffe Biaiomorphose u. s. w. Recueil Trav.
bot. neerl. I, 1904.
- MacDougal, *Heredity and the origin of species*. Chicago 1905.
- Magnus, P., Ueber Verschiebungen in der Entwicklung der Pflanzen-
organe. Gesell. naturf. Freunde. Jahrg. 1886.
- Ovula tragende Staubblätter bei *Primula sinensis*. Sitz. Bot. Ver.
Brandenburg, Bd. XX, 1878.
- Mangin, A., *Recherches sur le polymorphisme florale etc. du Lychnis
vespertina*. Lyon 1889.
- Masters, M., *Pflanzenanatomie*, übersetzt von Dammer. Leipzig 1886.
- Mayer, Ad., *Lehrbuch der Agriculturchemie*. 5. Aufl. Heidelberg,
I, 1901.
- Möbius, M., *Beiträge zur Lehre von der Fortpflanzung*. Jena 1897.
- Molliard, M., *Note sur les particularités que présentent les fleurs
doubles du Petunia hybrida*. Bull. Soc. bot. de Fr., T. 46, 1893.

- Molliard, M., Recherches sur les cécidies florales. Ann. Sc. nat. Sér. VIII, T. I, 1895.
- Fleurs doubles et parasitisme. Compt. rend. 1902, II.
- Tératologie et traumatisme. Rev. gen. de Bot. XV, 1903.
- Mottareale, E., Gelata e fenomeni cleistogamici e teratologici nel Solanum Melongena nel Capsicum annuum e grossum. Ann. Sc. Agric. Portici VI, 1904. Referat. Zeitsch. f. Pflanzenkrankh. XVI, 1906, S. 17.
- Müller, Fr., Bemerkungen zu Hildebrands Abhandlung über die Lebensdauer. Englers bot. Jahrb. II, 1882.
- Abänderung des Blütenbaues von Hedychium coronarium in Folge ungenügender Ernährung. Flora 1889.
- Moquin-Tandon, A., Éléments de Tératologie. Paris 1841.
- Naegeli, K., Mechanisch-physiologische Abstammungslehre. München 1884.
- Noll, T., Die Pfropf-Bastarde von Bronvaux. Sitzber. Niederrh. Gesch., 1905.
- Penzig, O., Pflanzenteratologie. Genua. Bd. I, 1890. II, 1894.
- Peyritsch, J., Untersuchungen über die Aetiologie pelorischer Blütenbildungen. Wien 1877.
- Zur Aetiologie der Chloranthieen einiger Arabis-Arten. Jahrb. f. wiss. Bot., XIII, 1882.
- Ueber künstliche Erzeugung von gefüllten Blüten u. s. w. Sitz. Wiener Akad. Bd. 97, 1888.
- Pfeffer, W., Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. Leipzig, I, 1897; II, 1901—04.
- Plate, L., Die Bedeutung des Darwinsehen Selectionsprincips und Probleme der Artbildung. 2. Aufl. Leipzig 1903.
- Regel, E., Die Sempervivum-Arten. Gartenflora, Bd. 21, 1872.
- Sempervivum patens. Ebenda 1876.
- Reinke, J., Philosophie der Botanik. Leipzig 1905.
- Rimpau, W., Ueber das Aufschiefen der Runkelrüben. Landwirth. Jahrb. V, 1876.
- Das Aufschiefen der Runkelrüben. Ebenda IX, 1880.
- Sachs, J., Physiologische Versuche über die Keimung der Schminkbohne (*Phaseolus multiflorus*). Sitz. Wiener Akad., Bd. 37, 1859.
- Ueber den Einfluss des Tageslichtes. 1863. Gesammelt. Abh. I.
- Wirkung des Lichtes auf die Blütenbildung. 1864. Ebenda.
- Stoff und Form der Pflanzenorgane. I, 1880; II, 1882. Gesammelt. Abh. II.
- Ueber die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Blütenbildung. 1887. Gesammelt. Abh. I.

- Schnittspahn und Lehmann, Ueber die im Freien in den deutschen Gärten vorkommenden Arten der Gattung *Sempervivum*. Flora 1855.
- Semon, R., Die Mneme als erhaltendes Princip des organischen Geschehens. Leipzig 1904.
- Stahl, E., Laubfarbe und Himmelslicht. Naturw. Wochenschrift 1906.
- Strasburger, E., Versuche mit dioecischen Pflanzen. Biol. Centralb. 1900.
— Die stofflichen Grundlagen der Vererbung im organischen Reiche. Jena 1905.
- Strohmer, Briem und Stift, Ueber mehrjährige Zuckerrüben und deren Nachzucht. Oest. Ung. Zeitsch. f. Zucker. XXIX, 1900.
- Tschermak, E., Weitere Kreuzungsstudien an Erbsen, Levkoyen und Bohnen. Arb. landwirth. Lab. Wien 1904.
- Turpin, P. J. F., Esquisse d'organographie végétale. Paris 1837.
- Vöchting, H., Ueber die Bildung der Knollen. Cassel 1887.
— Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Gestaltung und Anlage der Blüten. Jahrb. f. wiss. Bot. XXV, 1893.
— Ueber Blütenanomalien. Ebenda XXXI, 1896.
— Ueber die Keimung der Kartoffelknollen. Bot. Zeitg. 1902.
- de Vries, H., Monographie der Zwangsdrehungen. Jahr f. wiss. Bot. XXIII, 1891.
— Mutationstheorie. Leipzig I, 1901; II, 1902—03.
- Weifse, A., Ueber Veränderung der Blattstellung an aufstrebenden Axillarzweigen. Ber. d. bot. Ges. 1899.
- Wettstein, R., von, Die Erblichkeit der Merkmale von Knospenmutationen. Festschrift für Ascherson 1905.
- Willkomm, M., Führer in's Reich der deutschen Pflanzen. Leipzig 1863.
- Ziegler, E., Die Vererbungslehre in der Biologie. Jena 1905.

Berichtigungen.

Fig. 3 (Tafel): in der Figurenerklärung bezieht sich Nr. V auf Fig. VI (A B), Nr. VI auf Fig. V; im Text S. 25 ist die Numerierung richtig. — S. 30 al. 6 von unten Diagramme statt Diogramme. — Fig. 15 (Tafel): in der Figurenerklärung erste Zeile muß es heißen Doppelkarpid auf der Außenseite statt Innenseite; im Text ist die Bezeichnung richtig. — Fig. 22: in der Figurenerklärung al. 3 von unten September statt November. — Fig. 23: in der Figurenerklärung al. 1 und 4 von unten muß es stets heißen 1903 statt 1904. — Fig. 25: in der Figurenerklärung al. 2 von unten *Ajuga* statt *Ajnga*. — S. 141 al. 6 von oben s. Fig. 31 II statt s. Fig. 31 I.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	3
Erster Abschnitt. Über Blütenmetamorphosen bei <i>Sempervivum</i>	7
I. Vergleichung der archeogenen (typischen) und neogenen (veränderten)	
Blüten	11
1. <i>Sempervivum Funkii</i>	12
2. " <i>Mettenianum</i>	16
3. " <i>albidum</i>	18
4. " <i>Moggridgei</i>	21
5. " <i>Reginae-Amaliae</i>	22
II. Die verschiedenen Umbildungen der einzelnen Blütenorgane	24
1. Veränderungen der Kelchblätter	24
a) Änderungen der Form	24
b) Umwandlung in Blumenblätter	25
c) " " Rosettenblätter	26
2. Veränderungen der Blumenblätter	27
a) Verminderung der Blumenblätter; Apetalie	27
b) Vermehrung der Blumenblätter	32
3. Die Veränderungen der Staubblätter	33
a) Vermehrung der Staubblätter	33
b) Verminderung der Staubblätter	34
c) Reduktion einzelner Teile; Staminodien	35
d) Verwachsung von Staubblättern	36
e) Umwandlung in Blumenblätter (Petalodie)	36
α) Verteilung der Petalodie	37
β) Die Art und Weise der Umwandlung	40
f) Umwandlung in Kelchblätter	44
g) Die Umwandlung von Staubblättern in Karpide und von Karpiden in Staubblätter	45
α) Verteilung der Umwandlungsformen	46
β) Die Art und Weise der Umwandlung	47
1. Das Staubblatt mit Samenknochen	49
2. Das Staubblatt nimmt mehr Karpidcharakter an	49
3. Karpidähnliche Gebilde mit Staubblattteilen auf der Innenseite	50
4. Karpidartige Gebilde mit Staubblattteilen auf der Außenseite	51

	Seite
5. Doppelkarpide mit Staubblattteilen auf der Aufsenseite	52
6. Antherenanlagen an Stelle von Samenknospen	53
h) Gleichzeitige Petalodie und Pistillodie von Staubblättern	54
4. Die Veränderungen der Karpide	54
5. Knospenbildung; Durchwachsung	56
III. Übersicht der Blütenvariationen	58
1. Änderungen der Gliederzahl	59
2. " " Verhältnisse der Glieder	61
3. " " Stellung	62
4. Verwachsungen	62
5. Reduktions-Erscheinungen	63
6. Metamorphosen	64
7. Knospenbildung	66
8. Durchwachsung	66
 Zweiter Abschnitt. Über Metamorphosen von Infloreszenzen in Laubtriebe . .	67
Veronica chamaedrys L.	67
Andere Veronica-Arten	70
Zuckerrübe	70
Cochlearia officinalis L.	79
Ajuga reptans L.	80
Lysimachia thyrsoiflora L.	81
Rumex acetosa L.	82
 Dritter Abschnitt. Über die Ursachen der Blüten-Anomalien	85
I. Latente Anlage; Disposition	86
II. Äußere Bedingungen der Anomalien	92
1. Anomalien durch Parasiten hervorgerufen	93
2. " infolge von Verletzungen	94
Blaringhems Versuche	95
Einfluß der Verletzungen bei Sempervivum	96
3. Anomalien infolge von Ernährungsveränderungen	98
4. Ernährungs-Änderungen als Bedingungen für die Anomalien von Sempervivum	101
III. Die inneren Bedingungen für die Entstehung der Anomalien	104
1. Über einige Bedingungen der Blütenbildung	105
a) Veränderung der Intensität des Lichtes	109
b) " " Zusammensetzung des Lichtes	110
c) " " Temperatur	112
2. Über die inneren Vorgänge bei der Bildung der Anomalien	116
 Vierter Abschnitt. Über die Erblichkeit künstlich erzeugter Anomalien . . .	123
Äußere Veranlassungen von Mutationen	125
Über verschiedene Grade der Erblichkeit	127
Versuche von Blaringhem	131
Versuche mit Veronica chamaedrys	132
Veronica chamaedrys, Rasse K	134
" " " H	135
Sämlinge der Rasse H	135

	Seite
Veronica chamaedrys, Rasse C.	139
Charaktere Sommer 1903	140
1. Zerstreute Blattstellung; Zwangsdrehung	140
2. Terminale und verzweigte Infloreszenzen	141
3. Übergang der Infloreszenz in einen Laubtrieb	142
4. Auftreten der Blüten mit 5 teiliger Blumenkrone	142
Verhalten der Rasse C im Freibeet	142
" " " " " Feuchtbeet	144
Fortpflanzung der Rasse C durch Samen	146
Sämling 1	146
Veränderungen der Sämlinge Sommer 1905	147
Besprechung der Tatsachen	151
Literatur	155
Berichtigungen	159

ABHANDLUNGEN
DER
NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT ZU HALLE

ORIGINALAUFSÄTZE

AUS DEM GEBIETE DER GESAMTEN NATURWISSENSCHAFTEN

IM AUFTRAGE DER GESELLSCHAFT HERAUSGEGEBEN

VON IHREM SEKRETÄR

DR. GUSTAV BRANDES

PRIVATDOZENT DER ZOOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIREKTOR DES ZOOLOGISCHEN GARTENS ZU HALLE A. S.

XXV. BAND

MIT 15 TAFELN UND 32 FIGUREN IM TEXTE



STUTT GART

E. SCHWEIZERBART'SCHE VERLAGSHANDLUNG

E. NAEGELE

1903—1906



Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Halle

Originalaufsätze

aus dem Gebiete der gesamten Naturwissenschaften
Im Auftrage der Gesellschaft herausgegeben von ihrem Sekretär

Dr. Gustav Brandes

Privatdozent der Zoologie an der Universität und Direktor des Zoologischen Gartens
zu Halle a. S.

Redaktionelle Bemerkungen.

Die Abhandlungen erscheinen in zwanglosen Heften, deren 4 einen Band bilden. Die Bände sollen mindestens 25 Druckbogen umfassen, wobei jedoch auch jede Tafel als ein Druckbogen gerechnet werden wird.

Im Abonnement kostet der Band 12 Mark, während der Preis für die Einzelhefte von der Verlagshandlung jedesmal besonders bestimmt wird.

Aufnahme finden in den Abhandlungen grössere und kleinere Originalaufsätze aus dem Gebiete der gesamten Naturwissenschaften. Dieselben sind völlig druckfertig an ein Mitglied der Gesellschaft einzusenden.

Von jedem Aufsatz erhält der Verfasser 40 Separatabzüge; betreffs weiterer Separata hat sich der Autor mit der Verlagshandlung in's Einvernehmen zu setzen.

Der Herausgeber.

Die Verlagshandlung.

Verlag der E. Schweizerbartschen Verlagshandlung (E. Nägele), Stuttgart.

Beiträge zur Blütenbiologie.

Von

Dr. E. Fisch.

Mit 6 Tafeln. — Preis Mk. 16,—.

**Untersuchungen über die Morphologie,
Biologie und Physiologie
der Blüte von Victoria regia.**

Von

Dr. E. Knoch.

Mit 6 Tafeln. — Preis Mk. 17,—.

**Abweichende Blüten heimischer Orchideen
mit einem Rückblick auf die der Abietineen.**

Von

Dr. K. G. W. Stenzel.

Mit 6 Tafeln. — Preis Mk. 28,—.

Bibliotheca Botanica.

In dem unter obigem Titel bei uns erscheinenden Unternehmen gelangen umfangreiche botanische Monographien von hervorragender Bedeutung zur Veröffentlichung. Die Sammlung erfreut sich des besten Ansehens im Kreise der Fachgelehrten.

==== **Prospekte gratis.** =====

Verlag der E. Schweizerbartschen Verlagshandlung (E. Nägele), Stuttgart.

**Der anatomische Bau der Wurzel in seinem
Zusammenhange mit dem Wassergehalt des
Bodens.**

Von

T. Freidenfelt.

Mit 5 Tafeln und 7 Textfiguren. — Preis Mk. 20,—.

**Ueber
die Auflösungsweise der sekundären Zell-
membranen der Samen bei ihrer Keimung.**

Von

Dr. Th. Elfert.

Mit 2 Tafeln. — Preis Mk. 8,—.

**Bastarde zwischen Maisrassen,
mit besonderer Berücksichtigung der Xenien.**

Von

Prof. Dr. C. Correns.

Mit 2 Tafeln. — Preis Mk. 24,—.

**Blütenbiologische Schemabilder.
Ein Beitrag
zur Methodik des naturkundlichen Unterrichts.**

Von

Dr. W. Schoenichen.

Mit 12 Figuren. 8°. — Preis Mk. 0,40.

