

## Zur Physik der Klänge.

Mitteilung aus dem Forschungslaboratorium Siemensstadt.

VON FERDINAND TRENDELENBURG, Berlin<sup>1)</sup>.

Die Aufklärung der physikalischen Eigenschaften der Klänge, insbesondere der Klänge der menschlichen Stimme, trägt zur Förderung einer Reihe von Wissenszweigen bei: die Physiologie kann aus diesen Eigenschaften auf die Funktionen der sprachbildenden Organe — des Stimmbandes, des Kehlkopfes, der Mundhöhle — einerseits und der Gehörorgane andererseits schließen, die Psychologie wird aus den Klangforschungen manche Aufschlüsse über Probleme ihrer Arbeitsrichtung gewinnen können. In neuester Zeit nimmt die Technik reges Interesse an der Klangphysik, sie ist bemüht, die Klänge der Sprache und der Musik durch Leitungen oder drahtlos in die Ferne zu übertragen und dort wiederzugeben, gerade diese technischen Probleme stellen aber hohe Anforderungen an den Stand der Forschung. Sollen alle persönlichen Feinheiten der Klangfarbe wiedergegeben werden, so muß zunächst die Erkenntnis gewonnen werden, worin die physikalische Bedeutung dieser Klangeigenheiten liegt.

Die physikalischen Eigenschaften eines Klanges sind bekanntlich durch die Intensität und die Tonhöhe des Grundtones und der Obertöne bestimmt, welche den Klang bilden. Intensität und Tonhöhe dieser Teiltöne lassen sich am besten aus dem zeitlichen Verlauf des Druckes an einer Stelle des Schallfeldes ermitteln — nach FOURIER können wir diese Druckfunktion schreiben<sup>2)</sup>:

$$P = P_0 + P_1 \sin \omega t + P_2 \sin 2 \omega t + P_3 \sin 3 \omega t + \dots$$

hierbei ist  $P_0$  der mittlere Atmosphärendruck,  $P_n$  sind die Druckamplituden der einzelnen Teiltöne,  $\omega = 2\pi N$  ist die Kreisfrequenz des Grundtones.

Wir wollen diesen Ansatz allgemein als Klangbild bezeichnen, auf die Gewinnung des Klangbildes zielt die experimentelle Klangphysik.

Subjektive Klanguntersuchungen, wie sie von HELMHOLTZ und STUMPF, auf deren Forschungsergebnisse ich später kommen werde, mittels Resonatoren durchgeführt wurden, liefern nur einen bedingten Aufschluß über die Physik der Klänge, das menschliche Ohr wird als Indicator-

<sup>1)</sup> Über die Arbeit wurde am 22. Februar 1924 vor der Deutschen Gesellschaft für technische Physik und am 27. Februar 1924 vor der Deutschen physiologischen Gesellschaft vorgetragen.

<sup>2)</sup> Die Phasenwinkel  $\varphi_n$  können für unsere Betrachtungen unberücksichtigt bleiben.

instrument benutzt: statt der physikalischen Intensitätsverteilung des Klanges ermitteln wir die Teiltonreihe so, wie sie unter Vermittlung des Ohres auf unser subjektives Empfinden einwirkt, wir müßten also unsere Resultate in der Weise korrigieren, daß wir sowohl die Abhängigkeit der Gehörsempfindung von der Tonhöhe als auch von der auf das Ohr fallenden Reizstärke berücksichtigen. Der Gedanke, diese Schwierigkeiten dadurch zu umgehen, daß man zur Klangforschung eine rein physikalische, objektiv arbeitende Methode verwendet, wurde von vielen Forschern ausgebaut. Bringt man z. B. in das Schallfeld eine Membran, so wird diese unter Einwirkung des Klanges eine erzwungene Schwingung ausführen, die Form dieser Schwingung wird ein mehr oder weniger getreues Abbild der erzwingenden Klangschwingung sein. Die auf die Membran wirkende Kraft, welche die mechanische Schwingung hervorruft, ist  $P \cdot F$ , wobei  $P$  der Druck im Schallfeld an der Membranoberfläche  $F$  ist. Erreichen wir es nun, daß die Amplitude der Membran stets proportional der Druckamplitude  $P$  bleibt, so zeichnet uns die Membran den zeitlichen Verlauf des Schalldruckes an der betreffenden Stelle des Schallfeldes auf. Die Theorie der erzwungenen Schwingungen lehrt, daß die Membranamplitude dann der Druckamplitude folgt, wenn wir ein Empfangssystem benutzen, dessen hinreichend gedämpfte Eigenschwingung oberhalb des noch richtig wiedergebenden höchsten Teiltones liegt. Die Forscher, welche bisher objektive Klangbilder aufgenommen haben, mußten auf strenge Durchführung dieser Bedingung verzichten, da das Heraufsetzen der Eigenfrequenz ein gleichzeitiges starkes Herabdrücken der Empfindlichkeit bedeutet und sie daher bei Verwendung einer oberhalb des Sprachgebietes liegenden Eigenfrequenz nicht mehr in der Lage waren, die von den schwachen Schallintensitäten der menschlichen Stimme erzwungenen Membranschwingungen mit Hilfe ihrer Methoden, z. B. Spiegelchen und Lichtzeiger, aufzuzeichnen. Die Eigenschwingung der Membranen lag noch innerhalb der akustisch wichtigen Tongebiete, die Klangbilder sind durch die selektive Bevorzugung bestimmter Teiltöne verzerrt. Man hat eine Reihe von Methoden erprobt, welche resonanzfrei sind und theoretisch einwandfreie Resultate liefern, doch war ihnen kein erheblicher Erfolg beschieden, die Empfindlichkeit der Methoden war zu gering.



Ich habe im Forschungslaboratorium des Siemens-Konzerns eine Methode ausgearbeitet, welche bis zu sehr hohen Teiltönen getreue Klangbilder liefert. Ich habe die akustischen Wellen zum Steuern von elektrischen Strömen benutzt und das Kurvenbild dieser Wechselströme im Oszillograph aufgezeichnet. Die Methode wurde so ausgebaut, daß das oszillographisch gewonnene Strombild unmittelbar das Klangbild ergibt, die Stromamplitude entspricht im gesamten Sprachgebiet der Druckamplitude am Schallempfänger.

Würde man zur Umsetzung der akustischen Vorgänge in elektrische ein gewöhnliches Mikrophon verwenden, so wäre die Forderung der kurvengetreuen Klangaufnahme bei weitem nicht erfüllt, die Membran des Mikrophons — welche inmitten des Sprachgebietes abgestimmt ist — würde durch Resonanzerscheinungen Verzerrungen hineinbringen; überdies besitzt das Kohlenkörnermikrophon noch eine weitere, sehr störende Eigenschaft: das Mikrophon hat einen endlichen Schwellenwert, so daß es auf sehr kleine Impulse überhaupt nicht anspricht. Dies hat zur Folge, daß viele Feinheiten der Klangstruktur nicht erfaßt werden.

Man könnte als Empfangssystem einen Empfänger verwenden, welcher ohne Resonanzerscheinungen arbeitet, z. B. eine Ionisationsstrecke, welche durch den Schalldruck in ihrer Leitfähigkeit beeinflußt wird. Hier würden wir von den selektiven Störungseigenschaften des zu tief abgestimmten Membranempfängers frei bleiben — wir wären aber unsicher, ob nicht ein Gang der Empfindlichkeit mit der Frequenz der auffallenden Schall-schwingung bestehen bleibt, überdies wären die erhaltenen Wechselströme so schwach, daß wir sie erst nach reichlicher Niederfrequenzverstärkung aufzeichnen könnten —, hierbei sind Kurvenverzerrungen unvermeidlich. Eine Methode, welche objektiv einwandfreie Resultate erzielen will, darf solchen Einwänden nicht ausgesetzt sein, sie muß in allen Punkten eingehender Kritik zugänglich sein.

Ich habe zu meinen Untersuchungen ein Kondensatormikrophon nach H. RIEGGER verwendet, dessen Klangreinheit bei subjektiver Prüfung vorzügliche Resultate ergab. Das Grundprinzip dieses Schallempfängers ist folgendes:

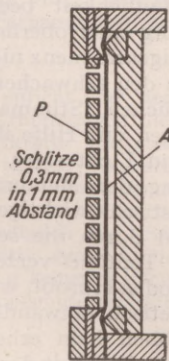


Fig. 1. Kondensatormikrophon nach H. RIEGGER.

Hinter einer geschlitzten Metallplatte  $P$  befindet sich in ungefähr  $\frac{1}{10}$  mm Abstand eine Aluminiumfolie  $A$  von etwa  $0,5 \mu$  Stärke, welche zwischen zwei Seidenmembranen gehalten ist, dicht hinter der Membran ist der Empfänger durch eine Rückwand abgeschlossen. Trifft durch  $P$  Schall auf  $A$ , so wird dieser die Membran zu Schwingungen erregen. Die Masse  $M$  des gesamten schwingenden Systems (Seide und Metallfolie) beträgt nur ca.  $0,1$  g, während die auf das System wirkenden Direktionskräfte sehr groß sind. Diese Kräfte liegen in dem zwischen Folie und Rückwand eingeschlossenen Luftpolster, ihre Größe läßt sich leicht rechnerisch erfassen. Direktionskraft und Masse bestimmen die Eigenschwingung: sie liegt für das beschriebene System bei etwa 6000 Schwingungen pro Sekunde, also oberhalb des Sprachgebietes; sie ist überdies stark gedämpft. Benutzt man nun  $P$  als die eine Belegung eines elektrischen Kondensators und  $A$  als die andere, so wird beim Auftreffen von Schall die Größe der Kapazität dieses Kondensators entsprechend den auftretenden Schallwellen moduliert, beim Annähern der Membran an die Platte wächst die

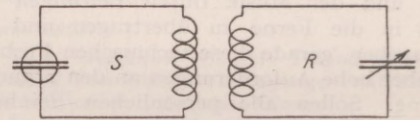


Fig. 2.

Das Kondensatormikrophon im Schwingungskreis.

Kapazität, beim Hinübergehen der Membran auf die entgegengesetzte Seite sinkt sie. Man schaltet nun das Kondensatormikrophon als Kapazität in einen elektrischen Schwingungskreis  $S$  (Fig. 2), welcher von einer in der Skizze nicht gezeichneten Elektronenröhre in bekannter Weise in seiner Eigenschwingung erregt wird. Bekanntlich ist die Länge der Eigenwelle dieses Kreises definiert als  $\lambda_R = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$ , wobei  $L$  die Selbstinduktion und  $C$  die Kapazität des Kreises ist. Moduliert man — wie oben beschrieben —  $C$  durch die akustischen Wellen um den Betrag  $\Delta C \sin \Omega t$ , wobei  $\frac{\Omega}{2\pi} = N$  die Sprachfrequenz sein soll, so wird entsprechend der obigen Gleichung die Wellenlänge  $\lambda$  sich um einen kleinen Betrag  $\Delta \lambda$  nach der Beziehung  $\lambda = \lambda_R + \Delta \lambda \sin \Omega t$  ändern.

Die akustischen Wellen sind also in Änderungen der Wellenlänge des elektrischen Schwingungskreises umgesetzt. Die Aufgabe ist nun, diese Wellenänderungen nachzuweisen und ihre — dem ursprünglichen Klangbild entsprechende — Kurvenform aufzuzeichnen. Dies geschieht mit der Methode der halben Resonanzkurve (Fig. 3). Man stimmt einen zweiten elektrischen Schwingungskreis  $R$  mittels eines Drehkondensators so ab, daß man sich im Ruhezustand auf der halben Höhe der Resonanzkurve befindet. Trifft nun Schall auf das Kondensatormikrophon in  $S$ , so



ändert sich durch den beschriebenen Vorgang die elektrische Wellenlänge  $\lambda_R$  um  $\Delta\lambda$ ; entsprechend diesen Änderungen wird der Strom  $J_R$  im Resonanzkreis  $R$  um die Größe  $\Delta J$  schwanken, nach Gleichrichtung dieses hochfrequenten Stromes erhält man einen Wechselstrom, der in seiner Kurve genau den Bewegungen der Membran folgt und damit dem Klangbild entspricht, das Strombild dieses Stromes wird oszillographisch registriert.

Der hier geschilderte Vorgang liegt dem von mir benutzten Verfahren zugrunde, die Einzelheiten der Durchführung sind eine Frage der Verstärkertechnik, es muß dieserhalb auf die Originalarbeit<sup>1)</sup> verwiesen werden.

Bevor wir uns der Betrachtung der aufgenommenen Klangbilder zuwenden, wollen wir noch kurz die Grundzüge der über die Vokalklänge aufgestellten Theorien besprechen, da nur so ein Verständnis der Struktur der Klangbilder möglich ist.

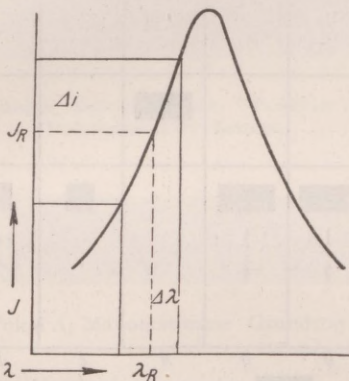


Fig. 3. Die Methode der halben Resonanzkurve.

Der Ausgangspunkt aller Theorien ist der folgende Satz, welcher bereits von HELMHOLTZ aufgestellt wurde und allgemeine Gültigkeit besitzt: Jedem Vokalklang entspricht ein enger, für den betreffenden Vokal charakteristischer und in seiner Tonhöhe absolut fester Tonbereich. Der in diesen Bereich fallende Teilton der Klangentwicklung charakterisiert den Klang, er bewirkt, daß das menschliche Ohr den Klang als den betreffenden Vokal empfindet. Erläutern wir diesen Satz an einem Beispiel:

Wir fordern von einem Sänger den Vokal *A* auf die Tonhöhe  $g$  ( $192 \text{ sek}^{-1}$ ). Das Klangbild des von dem Sänger hervorgebrachten Vokales *A* wird dann den Ton  $192 \text{ sek}^{-1}$  als Grundton aufweisen, beherrschend wird jedoch der 4. Partialton gleich 4mal  $192$  gleich  $768 \text{ sek}^{-1}$  auftreten. Dieser wird den Vokal zu einem *A* stempeln, denn das charakteristische Gebiet des *A* liegt zwischen ca. 650 und 800 Schwingungen  $\text{sek}^{-1}$ . In ähnlicher Weise wird uns der Vokal *E* auf der

Tonhöhe  $g$  durch die 14. Oberschwingung charakterisiert, das betreffende Gebiet des *E* liegt nämlich bei  $2500 \text{ sek}^{-1}$ . Würden wir mit dem Grundton höherrücken, z. B. von dem Sänger ein  $g'$  fordern ( $384 \text{ sek}^{-1}$ ), so würde wieder der Grundton des Klangbildes der geforderten musikalischen Tonhöhe entsprechen. Im Falle des Vokals *A* würde jedoch nicht der 4., sondern der 2. Partialton überwiegend vertreten sein, im Falle des *E* würde der 7. und nicht der 14. verstärkt erscheinen, denn so ist die absolute Tonhöhe des charakteristischen Tones gewahrt. In ähnlicher Weise bestehen für alle Vokalklänge charakteristische Gebiete; ich werde dies später in einer Zusammenstellung zeigen.

Wie ist nun die Lehre von der absoluten Tonhöhe der Vokalklänge zu erklären?

Der Grund für diese Eigenschaft der Sprachklänge liegt in der physikalischen Wechselwirkung zwischen Kehlkopf- und Mundhöhle, es gibt zwei Anschauungen, diese Vorgänge zu deuten. Die erste von HELMHOLTZ aufgestellte Theorie lautet: Das Stimmband erzeugt einen Klang, dessen Grundton die musikalisch definierte Tonhöhe ist. Dieser Klang ist reich an Obertönen; die dem Kehlkopf vorgelagerte Mundhöhle greift diejenigen Obertöne verstärkt heraus, welche ihrer Eigenresonanz am nächsten liegen, und gibt sie besonders kräftig an die Umgebung ab. Für jeden Vokal bildet man eine bestimmte Mundstellung und daher eine genau definierte Resonanzlage der Mundhöhle, der dieser Mundresonanz entsprechende Teiltonbereich charakterisiert dann den Vokal.

Die andere Anschauung stammt von HERMANN. Er nimmt an, daß im Tempo des gesungenen Tones, des Kehltones, einzelne Luftstöße auf die Mundhöhle treffen und diese zu Eigenschwingungen anregen. Das Klangbild würde also einzelne Wellenzüge aufweisen, welche in der Periode des gesungenen Tones folgen und in der Eigenperiode der Mundhöhle abklingen. Den Eigenton der Mundhöhle nennt HERMANN den Formanten. Wir wollen diesen Ausdruck allgemein für das charakteristische Gebiet eines Vokales gebrauchen.

Nun ergaben sämtliche bisher aufgenommenen Klangbilder der Vokale die genaue Periodizität der Kurven in der Periode des Grundtones. Die von mir aufgenommenen Klangbilder bestätigen dies aufs neue, eine Periode ist der anderen selbst in ihrer feinsten Struktur völlig identisch. Wollten wir dies im Sinne HERMANNs erklären, so müssen wir zu der Annahme der Stoßerregung noch die Annahme hinzunehmen, daß alle Stoßimpulse identisch gleich sind und überdies genau periodisch wiederkehren. Dies würde aber gerade bedeuten, daß die Stöße als eine Fourier-Reihe streng darstellbar sind. Für diese Fourier-Entwicklung könnten wir alsdann nach der Helmholtzschen Lehre verfahren, wir könnten die Differentialgleichung der erzwungenen Schwingung für die Mundhöhle als Resonanzsystem ansetzen und so das Klang-

<sup>1)</sup> F. TRENDELEBURG, Objektive Klangaufzeichnung mittels des Kondensatormikrophons, Wiss. Ver. a. d. Siemens-Konzern, III. Bd., 2. Heft, S. 43, Berlin: Verlag von Julius Springer 1924.



bild des aus der Mundhöhle tretenden Klanges berechnen.

Man kann daher sagen: Die Helmholtzsche Anschauung ist richtig und allgemein gültig. HERMANN macht für bestimmte Fälle außerdem die Annahme, daß der Kehlkopfklang einen impulsähnlichen Charakter aufweist, er ist hierdurch imstande, besondere Eigentümlichkeiten der Klangbilder, wie sie z. B. beim *A* auftreten — abklingende Wellenzüge —, zu deuten. Aus dem eben Gesagten folgt notwendigerweise: Unharmonische Teiltöne können in keinem Fall vorhanden sein, die erwähnten abklingenden Wellenzüge sind in Wirklichkeit nur das Abklingen der in dem ursprünglichen Kehlkopfklang bereits enthaltenen, dem Eigentone der Mundhöhle am nächsten liegenden und daher besonders verstärkten Teiltöne.

Ein Gegensatz zwischen der Theorie von HELMHOLTZ und der von HERMANN könnte nur dann bestehen, wenn die einzelnen Impulse nicht streng periodisch identisch wären, dieses ist aber, wie betont, wegen der Regelmäßigkeit aller Vokalcurven ausgeschlossen.

Zu beiden Anschauungen bleibt aber zu bemerken, daß die physikalischen Vorgänge der Klangerzeugung in Wirklichkeit noch komplizierter sein müssen. Die erzwungene Schwingung eines einfachen Systems wird zur Deutung nicht ausreichen, man muß annehmen, daß die Vokale Schwingungen mehrerer enggekoppelter Systeme (Kehlkopf, Rachen, Mundhöhle) sind.

Wir wollen uns jetzt einen Überblick über die Lage der Formanten der Hauptvokale der menschlichen Stimme verschaffen. Ich werde ein Bild bringen, welches sich im wesentlichen an eine Darstellung bei STUMPF anlehnt, ich möchte allerdings die Klänge durchweg auf die sekundliche Schwingungszahl, welche für eine physikalische Betrachtung allein maßgebend ist, und nicht auf die musikalische Tonhöhe beziehen.

Die Betrachtung der Formantentabelle lehrt folgendes:

Der charakteristische Tonbereich der dumpfen Vokale *U* und *O* liegt am tiefsten, er kann auch noch unter die Grenze von ca.  $400 \text{ sek}^{-1}$  nach unten verschoben sein, dies drücken die Pfeile aus. So wird z. B. ein reiner Sinuston, dessen Frequenz unterhalb 400 aber noch innerhalb des akustischen Bereiches liegt, als dumpfes *U* empfunden. *O* und *U* sind sehr ähnlich, im allgemeinen pflegt das *U* mit einem Teilton in Gegend 800 ein wenig aufgehellt zu sein, während das *O* noch weiter hinaufreicht und sogar noch bei 3000 einen beträchtlichen Zusatz enthält. Ich werde hierauf noch zu sprechen kommen.

Der Formantenbereich des *A* liegt zwischen etwa  $650$  und  $800 \text{ sek}^{-1}$  und tritt besonders stark hervor, die in diesen Bereich fallenden Teiltöne treten meist mit einer Amplitude auf, welche größer ist als die des Grundtones.

Die Vokale *E* und *I* weisen je zwei Formanten-

bereiche auf, der niedere liegt für beide ebenfalls bei  $400 \text{ sek}^{-1}$ , der höhere, besonders charakteristische, befindet sich für *E* in Gegend  $2500 \text{ sek}^{-1}$ , während er für das *I* in Gegend 3000 bis  $3500$  liegt.

Die Formantengebiete sind individuell ein wenig verschieden, für das Einzelindividuum aber fest und charakteristisch.

Die Richtigkeit der eben beschriebenen Formantenlage ist durch zahlreiche experimentelle Untersuchungen bestätigt. Auch meine Aufnahmen gliedern sich in diesen Rahmen ein. Darüber hinaus fand ich hohe charakteristische Teiltöne für *A*, *O* und *U* in Gegend  $2800$  bis  $3200 \text{ sek}^{-1}$ ,

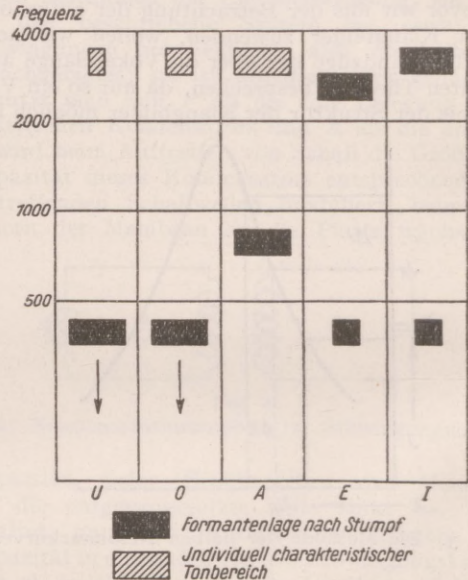


Fig. 4. Die Formanten der Vokale.

ich habe diese Bereiche in der Zeichnung durch Schraffur gekennzeichnet. Dieser hohe Tonbereich ist, wie ich zeigen werde, für die individuelle Klangfarbe ausschlaggebend. Ein kräftiges Auftreten dieser hohen Teiltöne bewirkt, daß der Klang einen hellen metallischen Charakter annimmt, ist hingegen die individuell charakteristische Feinstruktur nur mit geringer Amplitude vertreten, so besitzt der Klang einen weichen Charakter. Die hohen Teiltöne sind für *A* im allgemeinen besonders ausgesprochen, weniger für *O* und am geringsten für *U*. Ich habe dies in dem Bild durch die verschiedene Breite der Rechtecke zu kennzeichnen versucht.

Wir wollen nun die durch das Kondensatormikrophon aufgedeckte Feinstruktur der Klänge im einzelnen an Hand einiger von mir aufgenommenen Klangbilder besprechen.

Es soll hier noch ausdrücklich auf den Einfluß der gesanglichen Schulung auf die physikalischen Eigenschaften der Klänge hingewiesen werden. Diese Veränderungen zeigen am besten die *A*-Klangbilder. Wurde von der Versuchsperson ein *A* mit



Nr.	Vokal	Grundton	Ordnungszahl und Tonhöhe der hervortretenden Teiltöne				Bemerkungen
			4	5	6	7	
Fig. 5	A	191	4	764	16	3056	Männerstimme, Vokalcharakter stark betont, metallischer Klang die gleiche Stimme entsprechend ihrer gesanglichen Schulung
Fig. 6	A	192	4	786	15	2880	
Fig. 7	A	192	5	960			ungeschulte Männerstimme, weicher Klangcharakter
			4	786	14	2688	
Fig. 8	A	441	2	882	6	2646	Frauenstimme, Vokalcharakter stark betont
					7	3087	
Fig. 9	A	398	2	796	8	3184	die gleiche Stimme entsprechend ihrer gesanglichen Schulung
			3	1194			
Fig. 10	E	201	2	408	13	2613	Männerstimme
Fig. 11	I	351			9	3159	Frauenstimme
Fig. 12	O	200	2	400	15	3000	Männerstimme
Fig. 13	U	291	—	—	—	—	Männerstimme, sehr dumpfer, Klangcharakter
Fig. 14	U	198	2	396	15	2970	Männerstimme, klarer Klangcharakter

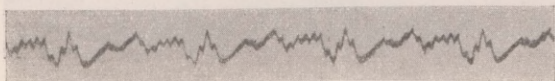


Fig. 5. Vokal A, Männerstimme. Grundton 191 sek<sup>-1</sup>. Vokalcharakter betont.

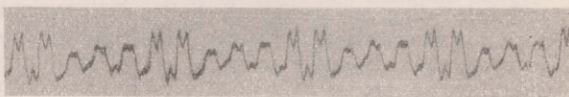


Fig. 6. Vokal A, Männerstimme. Grundton 192 sek<sup>-1</sup>, entsprechend der gesanglichen Schulung.

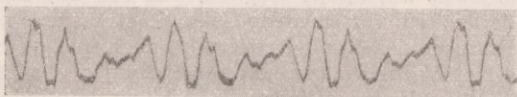


Fig. 7. Vokal A, Männerstimme Grundton 192 sek<sup>-1</sup>.

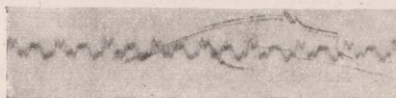


Fig. 8. Vokal A, Frauenstimme. Grundton 441 sek<sup>-1</sup>. Vokalcharakter stark betont.

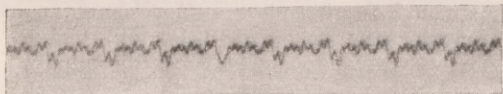


Fig. 9. Vokal A, Frauenstimme. Grundton 398 sek<sup>-1</sup>, entsprechend der gesanglichen Schulung.

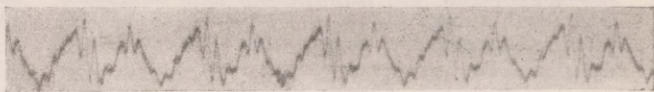


Fig. 10. Vokal E, Männerstimme. Grundton 201 sek<sup>-1</sup>.

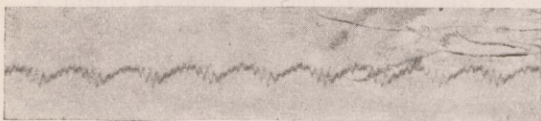


Fig. 11. Vokal I, Frauenstimme. Grundton 351 sek<sup>-1</sup>.

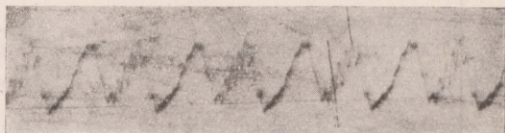


Fig. 12. Vokal O, Männerstimme. Grundton 200 sek<sup>-1</sup>.

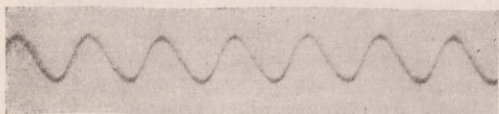


Fig. 13. Vokal U, Männerstimme. Grundton 291 sek<sup>-1</sup>, Dumpfer Klangcharakter.

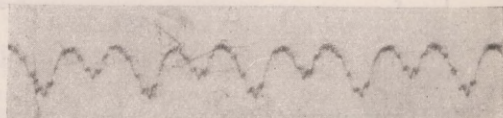


Fig. 14. Vokal U, Männerstimme. Grundton 198 sek<sup>-1</sup>. Klarer Klangcharakter.

Bemerkung: Der zeitliche Anfang aller Klangbilder befindet sich rechts, das Ende links.



besonders betontem Vokalcharakter gefordert, so trat stets der *A*-Formant isoliert auf, während in dem der gesanglichen Schulung entsprechenden Klangbild die benachbarten Teiltöne mit nahezu gleicher Amplitude vertreten sind, dies verleiht dem Klang einen weichen und vollen Charakter.

Die durch meine Klangaufnahmen objektiv aufgedeckte Feinstruktur der Klänge wurde von STUMPF an einem Vokal, dem *A*, bereits subjektiv festgestellt. Er fand ebenfalls, daß gerade der Bereich um 3000 sek noch individuell wichtige Teiltöne enthielt. Die entscheidende Bedeutung dieser Tonbereiche für die persönliche Klangfarbe läßt sich mit dem Kondensatormikrophon ebenfalls leicht nachweisen. Stimmt man nämlich den Schallempfänger durch Vergrößerung des Luftpolsters zwischen Folie und Rückwand so ab, daß seine Eigenschwingung etwa in Gegend 2000 sek<sup>-1</sup> liegt, so werden die hohen Teiltöne nur noch mit verschwindend kleiner Amplitude wiedergegeben, die Sprache nimmt einen dumpfen Charakter an, sie ist zwar noch verständlich, doch ist die persönliche Färbung verloren.

Wir hatten in dem bisher Gesagten die Gesetze der Klangbildung besprochen, wir hatten auf experimentellem Wege einige charakteristische Bilder der Hauptvokale aufgezeichnet, wir hatten gesehen, in welchen physikalischen Eigentümlichkeiten die persönliche Klangfarbe dieser Klänge bestand. Ich hatte oben betont, daß diese rein wissenschaftlichen Feststellungen einem erheblichen technischen Interesse begegnen, wir wollen diesen technischen Gesichtspunkt jetzt kurz besprechen.

Die technischen Probleme, für welche die Klangforschung eine grundlegende Rolle spielt, sind die Fernübertragung der natürlichen Klänge und die Klangaufzeichnung zwecks späterer Reproduktion. Die so übertragenen oder aufgezeichneten natürlichen Klänge werden dem Ohr als künstliche, durch einen Wiedergabeapparat erzeugte Klänge zugeleitet.

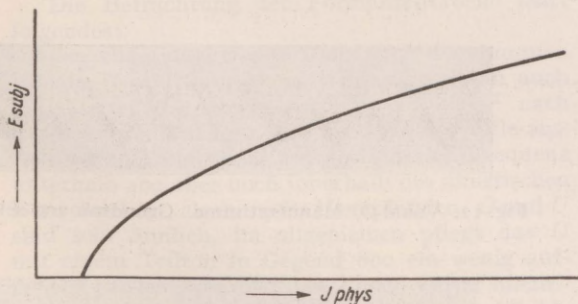


Fig. 15. Das Weber-Fechnersche Gesetz.

Wir wollen jetzt das Gesetz betrachten, welches die Umsetzung der akustischen Wellen in subjektive Empfindung durch das Gehörorgan beherrscht. Dies Gesetz ist das Weber-Fechnersche Gesetz, ich habe es in Fig. 15 graphisch dargestellt, es lautet in Worten: Die Stärke der subjektiven

Empfindung ( $E_{\text{subj.}}$ ) ist proportional dem Logarithmus der auffallenden Schallintensität ( $I_{\text{phys.}}$ ). Lassen wir also die Schallintensität von sehr kleinen Werten aus allmählich ansteigen, so empfindet unser Ohr zunächst nichts, bis der Schwellenwert des Ohres erreicht wird ( $I = 1$ ,  $\log I = E = 0$ ); hier setzt die Empfindung plötzlich ein und steigt zunächst mit wachsendem Reiz stark an, um dann entsprechend dem Verlauf der logarithmischen Funktion bei weiterer Steigerung der Schallintensität nur noch langsam zuzunehmen.

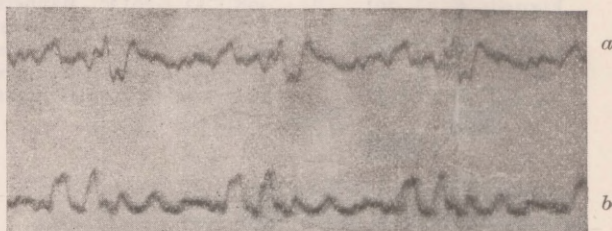


Fig. 16. a Kondensatormikrophon, b Postmikrophon.

Wir haben nun die Möglichkeit, eine naheliegende und technisch wichtige Frage zu klären: Wie ist es überhaupt möglich, daß das Ohr zwei äußerlich so verschiedene Klangkurven, wie sie z. B. durch das Kondensatormikrophon und durch das Kohlekörnermikrophon aufgenommen werden, subjektiv als den gleichen Vokalklang empfindet.

Um zu zeigen, wie verschieden derartige Klangbilder ausfallen können, habe ich auf Oszillogramm (Fig. 16) gleichzeitig den Vokal *A* einer Männerstimme mit dem Kondensatormikrophon und mit einem Postmikrophon aufgenommen.

Die Feinstruktur ist bei dem Postmikrophon fast völlig verschwunden, während Teiltöne im Bereich von 700 bis 1200 sek<sup>-1</sup> stark vertreten sind. Die Tatsache, daß das Ohr auch diesen Klang als *A* empfindet, liegt erstens in der Richtigkeit der Formantentheorie: der Formant des *A* ist auch in dem Klangbild des Postmikrophons stark vertreten und stempelt diesen Klang zu einem *A*, und zweitens in der Richtigkeit des Weber-Fechnerschen Gesetzes: verhältnismäßig große Amplitudenunterschiede kommen dem Ohr subjektiv kaum zur Empfindung. Die höheren Teiltöne sind in dem Klangbild des Postmikrophons nur eben angedeutet, sie werden bei der Wiedergabe teilweise unter den Schwellenwert des Ohres sinken, dadurch fällt der betreffende Teilton subjektiv ganz aus, die Feinheit der persönlichen Klangfarbe werden nicht wiedergegeben.

Das eben Gesagte beweist auch die Wichtigkeit schwellenwertfreier Empfänger und solcher Empfänger, deren Amplituden der erregenden Kraft nach einem linearen Gesetz folgen.

Die erste Forderung ist nach dem Gesagten ohne weiteres klar: wie wenig sie für viele Mikrophone erfüllt ist, zeigt die folgende, leicht zu gewinnende Beobachtung:



Das Aufnahmemikrophon befindet sich in einem Zimmer, in welchem entfernt vom Mikrophon gesprochen wird.

Man hört dann im Mikrophon zwar deutlich, daß gesprochen wird, ist aber nicht imstande, auch nur ein Wort zu verstehen: zahlreiche Formanten sind in ihrer Amplitude zu klein, um den Schwellenwert des Mikrophones zu erreichen, sie fallen in dem sekundären Klangbild des Telefones ganz aus: die Sprache wird unverständlich.

Die Wichtigkeit linearer Empfänger liegt in dem Umstand, daß z. B. bei quadratischer Empfangscharakteristik des Aufnahmeapparates neben den ursprünglichen Teiltönen solche von doppelter Frequenz auftreten, so daß Formanten vorgetäuscht werden können, die gar nicht vorhanden sind, und mithin ein fremder Klangcharakter entsteht.

Die Technik stellt für die Nachrichtenübermittlung im allgemeinen die Forderung, daß der Frequenzbereich zwischen etwa 700 und 2100  $\text{sek}^{-1}$  einigermaßen gleichmäßig wiedergegeben wird, obgleich bekannt ist, daß wichtige Formantenbereiche außerhalb dieser Schwingungszahlen liegen. In diesen Fällen hilft uns Übung, Phantasie und Kombinationsgabe zum Verständnis einer in ihrem Klang derart eingegangenen Sprache.

Die langjährige Erfahrung im Gebrauch des Fernsprechers läßt uns diese Klangeinengung überhören. Wie weitgehend die Entstellungen sind, mögen zwei kurze Bemerkungen zeigen. Zunächst möchte ich auf die große Schwierigkeit fremdsprachlichen Fernsprechverkehrs hinweisen: selbst bei ausgezeichnete Beherrschung der fremden Sprache ist uns ihr eingeganger Telefonklang nicht gewohnt, wir haben keine Kombinationsmöglichkeiten und verstehen daher außerordentlich schwer.

Die zweite Bemerkung ist die folgende: Wir werden angerufen und verstehen den Namen des

Anrufenden nicht, wir stehen dem Inhalt des Gespräches zunächst verständnislos gegenüber, bis uns ein verstandenes, für den Zusammenhang wichtiges Wort zeigt, um was sich das Gespräch handelt und wir nun auf die Person des Anrufenden schließen können. Mit diesem Augenblick haben wir den Übersetzungsschlüssel Telephonklangfarbe—persönliche Klangfarbe gewonnen, und wir können mühelos folgen.

Ich habe die Gründe gezeigt, welche es ermöglichen, für die gewöhnlichen Zwecke der Fernmeldetechnik mit einem engeren Tonbereich auszukommen.

Für eine wirklich naturgetreue Klangwiedergabe müssen wir aber weitergehende Forderungen aufstellen: Die Übertragung und die Reproduktion muß so erfolgen, daß der Frequenzbereich zwischen 50 und 5000 Schwingungen pro Sekunde einigermaßen gleichmäßig wiedergegeben wird, liegen ja doch schon die hohen Teiltöne der Vokale bei und über 3000  $\text{sek}^{-1}$ , Konsonanten, namentlich

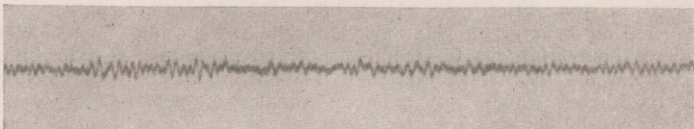


Fig. 17. Zischlaut Sch, sehr scharf. Mittlere Frequenz 4500  $\text{sek}^{-1}$ .

die Zischlaute reichen noch höher hinauf. (Vgl. Oszillogramm Fig. 17.)

Die mit der beschriebenen Anordnung durchgeführten Untersuchungen lieferten weitgehenden Aufschluß über die Struktur der Sprachlaute, die individuellen Klangeigentümlichkeiten konnten objektiv erfaßt werden. Es wird sich lohnen, die Untersuchungen auch auf die Klänge der Musikinstrumente auszudehnen. Die empirisch gewonnene Erfahrungstechnik ist hier derart weit vorgeschritten, daß nur eine hochwertige Versuchstechnik fördernd eingreifen kann.

## Hauptversammlung der Deutschen Bunsen-Gesellschaft für angewandte physikalische Chemie.

Göttingen, das schon 25 Jahre zuvor die Deutsche Bunsen-Gesellschaft beherbergt hatte, übte heuer eine besondere Anziehungskraft aus: vereinigten sich doch mehr als 360 Teilnehmer zu der diesjährigen Versammlung am 30. und 31. Mai, fast zu viel selbst für das Auditorium maximum, in dem der größte Teil der Vorträge, und besonders für den Hörsaal des Physikalischen Instituts, in dem die Experimentalvorträge gehalten wurden. Dementsprechend war auch die Anzahl der Vorträge ungewöhnlich groß; mehr als 40 wurden in 2 Arbeitstagen bewältigt, so daß dem Einzelnen die Redezeit sehr knapp zugemessen und die Diskussion aufs äußerste beschränkt werden mußte. Hoffentlich läßt sich aber die von einem Begrüßungsredner als Zukunftsmöglichkeit angedeutete Unterteilung der Gesellschaft vermeiden, der gerade die Vereinigung der gesamten reinen und angewandten physikalischen Che-

mie in ein Arbeitsgebiet ihr besonderes Gepräge verleiht.

Die zusammenfassenden Vorträge des ersten Vormittags waren unter Leitung von TAMMANN — dem künftigen Vorsitzenden der Gesellschaft — der *Chemie der hohen Temperaturen* gewidmet.

Hohe Temperaturen, so hoch sie nach dem jeweiligen Stande der Erhitzungstechnik zu erreichen waren, hat ja die Chemie seit den ältesten Zeiten angewandt; wissenschaftliche Bedeutung gewinnen aber solche Versuche erst dann, wenn die Temperaturen gemessen werden. Demgemäß besprach an erster Stelle HENNING (von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt) das Problem der *Messung hoher Temperaturen*, der Pyrometrie, wobei er sich wegen der nachträglich verkürzten Redezeit auf die optischen Verfahren beschränken mußte. Diese beruhen ja auf dem Zusammenhang



zwischen Temperatur und Helligkeit eines glühenden festen Körpers, wie er für eine bestimmte Wellenlänge durch die fundamentale Strahlungsgleichung geliefert wird. Dabei ist als Bezugstemperatur der Goldschmelzpunkt ( $1336^{\circ}$  abs.) üblich, während über den Wert der in der Gleichung vorkommenden Strahlungskonstante  $c$  noch nicht völlige internationale Einigung erzielt ist. In der Reichsanstalt werden Mikropyrometer benutzt, bei denen die Helligkeit des Objektes mit der des Metallfadens einer Glühlampe bei wechselnder Strombelastung verglichen wird; sie sind vom Vortragenden in verschiedenen Beziehungen noch verbessert worden. Bei sehr heißen Objekten wird die erforderliche Schwächung der Helligkeit nicht mehr durch hintereinandergeschaltete Rauchgläser erreicht, sondern dadurch, daß ein Bild des Objektes auf einem Magnesiumschirm entworfen und dieser anvisiert wird, wobei die Lichtschwächung von der benutzten Blende, der Vergrößerung und dem Winkel der Anvisierung abhängt. Zur Eichung wird als sekundäres Normal eine Tantallampe benutzt, die ihrerseits an den Schmelzpunkt von Platin als Fixpunkt angeschlossen ist. Zu dessen Erreichung wird ein  $\frac{1}{4}$  mm starker Platindraht an freier Luft elektrisch bis etwa  $10^{\circ}$  unter seinen Schmelzpunkt erhitzt; dann steigt die Temperatur durch Zerstäubung langsam von selbst und bleibt beim Schmelzpunkt 3–4 Minuten konstant. Als Beispiel für die Anwendung dieses Meßverfahrens beschrieb der Vortragende eine Bestimmung des Schmelzpunktes von Wolfram, das in Form kleiner Kugeln mit radialem Stichkanal untersucht wurde; der als schwarzer Körper anvisierte Kanal fällt im Augenblick des Schmelzens zusammen. Als Schmelzpunkt wurde so  $3370^{\circ}$  C ( $3640^{\circ}$  abs.) gefunden, während die Strahlung der freien Oberfläche der Kugeln nur einer schwarzen Temperatur von  $2990 + 273^{\circ}$  entsprach, was ein Absorptionsvermögen von 0,49 anzeigt.

Was für ein Verhalten der Stoffe hat man nun bei sehr hohen Temperaturen zu erwarten? Dies zeigte in besonders fesselnden, sich nur auf große Züge beschränken den Ausführungen der zweite Redner, v. WARTENBERG (Danzig). Der wichtigste Unterschied gegenüber niedrigen und mäßigen Temperaturen ist das Aufhören aller Reaktionswiderstände, die sonst die scheinbare Beständigkeit der meisten Stoffe bedingen. Arbeitet doch der organische Chemiker, wie es einmal von anderer Seite ausgedrückt wurde, im Grunde mit lauter Explosivstoffen, d. h. theoretisch unbeständigen Stoffen, die nur wegen ihrer Reaktionsträgheit in solcher Fülle und Mannigfaltigkeit faßbar sind. Aber zwischen  $1000^{\circ}$  und  $3000^{\circ}$  hört dies alles auf, und es bleibt nur ein kleines Häuflein von Kohlenstoffverbindungen übrig: Acetylen, Kohlenoxyd, Schwefelkohlenstoff, Blausäure und Carbide. Dabei ist nicht, wie man früher meinte, im wesentlichen die Bildungswärme maßgebend, derart, daß die endothermen Verbindungen bei hohen Temperaturen stabil werden: eine vielleicht noch größere Rolle spielt die Verdampfungswärme, deren ungewöhnliche Höhe beim Kohlenstoff die Stabilität der Carbide zur Folge hat. Will man nun im Laboratorium bei derart hohen Temperaturen arbeiten, so zeigt sich, daß die üblichen Gefäßmaterialien ihre sonstige Brauchbarkeit auch nur der Reaktionsträgheit verdanken und nun nicht mehr anwendbar sind. Kohlenstoff ist noch verwendbar, soweit er selbst an der untersuchten Reaktion beteiligt ist; Zirkonoxyd hat den Fehler, unvollkommen gasdicht und dabei reduzierbar zu sein. Der beste Ausweg bietet sich in dem Verfahren, Reaktionen im Innern eines kalten Gefäßes derart stattfinden zu lassen, daß die reagierenden Gase von kälteren umgeben sind, wie es in NERNST'S Laboratorium von PIER u. a. aus-

gebildet worden ist; doch läßt sich diese Methode über  $2700^{\circ}$  nicht anwenden, weil dann die Gasmischungen zu brisant werden. Vielleicht kann man sich dann mit kleineren Gefäßen helfen. — Betrachtet man schließlich Temperaturen über  $4000^{\circ}$ , so wird die Chemie noch weiter vereinfacht; denn nun sind chemische Verbindungen überhaupt nicht mehr beständig, und es müßte außer den bekannten Elementen nach den Berechnungen von SAHA und EGGERT ein neues Gas auftreten: das Elektrogen. Nicht nur in den Sternen sind derartige Temperaturen zu beobachten, auch im Laboratorium sind sie erreichbar: beim Zusammentreffen zweier Explosionswellen kann sich eine leuchtende Gasschicht von etwa  $5000^{\circ}$  bilden.

Die großen praktischen Schwierigkeiten, die die experimentelle Untersuchung fester und flüssiger Stoffe bei hohen Temperaturen bietet, beleuchtete RUFF (Breslau), indem er das Arbeiten im Kohlerohrfen, in Tonerde- und Zirkongefäßen näher schilderte. Von den Ergebnissen seiner mühevollen Versuche seien die Bestimmungen der Schmelz- und Verdampfungstemperaturen von Metallen und Oxyden und der Erstarrungstemperaturen einiger Carbide hervorgehoben. Beim Calciumcarbid erwies sich der Gehalt an Calciumoxyd bedeutungsvoll, das mit dem Carbid ein Eutektikum bildet.

Welche weittragende Bedeutung der experimentellen Erforschung von Gleichgewichten bei hohen Temperaturen zukommt, zeigte EITEL (Königsberg) in seinem Vortrage über *Silicate*, der sich vielfach auf die für die Silicatchemie, Petrographie und Keramik gleichermaßen wichtigen Forschungen des Geophysikalischen Instituts in Washington stützte. Die Verhältnisse sind hier besonders verwickelt, einmal wegen der Langsamkeit der Reaktionen, selbst bei  $1000 - 1500^{\circ}$ , sodann infolge der Mannigfaltigkeit der polymorphen Formen und Gleichgewichte. Müßen doch schon in dem Einstoffsystem  $\text{SiO}_2$  8 verschiedene Phasen unterschieden werden ( $\alpha$ - und  $\beta$ -Quarz,  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Tridymit,  $\alpha$ - und  $\beta$ -Christobalit, Schmelze), von denen allerdings mehrere instabil sind. Entsprechend mannigfaltiger werden Zweistoffsysteme, wie  $\text{MgO} + \text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} + \text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ , und noch mehr das Dreistoffsystem  $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ , das für die Zementindustrie, die Hochofenschlacken usw. praktisch wichtig geworden ist. In anderen Fällen ist es zweckmäßiger, als Bestandteile eines Vielstoffsystems nicht die einfachen Oxyde, sondern schon bestimmte Silikate zu betrachten; so spielt in der Petrographie für den Vorgang der Differentiation des Magmas das System Albit-Anorthit-Diopsid eine bedeutsame Rolle. Zur Nachahmung der gesteinsbildenden Vorgänge muß außerdem der Einfluß des Wasserdampfes und der Kohlensäure unter hohem Druck erforscht werden, ein schwieriges, aber aussichtsreiches Gebiet.

Mit anderen *schmelzflüssigen Elektrolyten* den Silicaten beschäftigte sich in dem letzten Vortrage dieser Reihe LORENZ (Frankfurt a. M.). Aus seinen inhaltsreichen Ausführungen seien hier nur 2 Punkte herausgegriffen: die Bildung von „Metallnebeln“, „Pyrosolen“ an der Grenze zwischen geschmolzenem Metall und Salzschmelze und sodann die Gleichgewichte zwischen 2 Metallen und den Schmelzen ihrer Salze, z. B.  $\text{Cd} + \text{PbCl}_2 \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{CdCl}_2$ . Diese Gleichgewichte sind von TAMMANN unter Zugrundelegung von NERNST'S Theorie des elektrolytischen Lösungsdruckes berechnet worden; der Vortragende zeigte, daß in weiterem Umfange auch thermodynamische Rechnungen, und zwar auf 2 verschiedenen Wegen, eine quantitative Deutung der Erscheinungen zulassen. Solche Systeme sind



praktisch wichtig in der Metallurgie (Metall + Schlacke) und theoretisch für die Betrachtung des Erdinnern.

Auch von den experimentellen Vorträgen führten zwei in das Gebiet hoher Temperaturen. RYSCHKEWITSCH (München), ein Mitarbeiter von FAJANS, demonstrierte in Photogrammen und Kinematogrammen seine — in diesen Blättern bereits geschilderten<sup>1)</sup> — Versuche zum Schmelzen des Kohlenstoffs, bei denen ein in der Mitte verjüngtes Graphitstäbchen durch elektrische Erhitzung bei etwa  $3800 \pm 100^\circ$  plötzlich, ohne vorher dünner zu werden, zur Teilung und Lichtbogenbildung gebracht wurde. Die Erscheinungen sprechen, trotz einzelner in der Diskussion vorgebrachter Zweifel, recht überzeugend dafür, daß hier wirklich das Schmelzen von Graphit beobachtet worden ist. Wäre das Zerreißen der Stäbe durch aus dem Innern verdampfenden Kohlenstoff verursacht, so müßte die Temperatur der Teilung vom Druck abhängig sein, was aber nicht beobachtet wurde. Die bei dem Vorgang gebildeten und an die Wand des umgebenden Graphitrohres verspritzten Schmelztröpfchen zeigen im erstarrten Zustande die Dichte 2,232.

RIESENFELD (Berlin) demonstrierte Versuche zur Aufklärung des Mißverhältnisses zwischen der thermodynamisch berechneten maximalen thermischen Ozon-Ausbeute aus Sauerstoff und den viel höheren von V. WARTENBERG in der Knallgasflamme beobachteten Ozongehalten. Da angenommen worden war, daß der Mehrgehalt an Ozon aus primär gebildetem  $H_2O_2$  entstamme, so konstruierte der Vortragende einen Mikrobrenner, bei dem durch die Kleinheit der Flamme (0,2 mm Radius) und durch äußere und innere Kühlung (zwischen Quarzcapillaren) möglichst viel  $H_2O_2$  und  $O_3$  entstehen und ihrer Menge nach bestimmt werden konnten. Es zeigte sich, daß das Mengenverhältnis der beiden Oxydationsprodukte völlig von dem Verhältnis des zugeführten Wasserstoffs zum Sauerstoff abhängt. Danach ist es unwahrscheinlich, daß Ozon über Wasserstoffsuperoxyd entsteht, vielmehr werden beide aus aktiviertem Sauerstoff gebildet werden, der sich je nachdem entweder mit überschüssigem Sauerstoff oder Wasserstoff verbindet.

In diesem Zusammenhange seien noch einige apparative Neuerungen erwähnt: SAUERWALD (Breslau) beschrieb Anordnungen, um bei hohen Temperaturen die Dichte und die Zähigkeit geschmolzener Metalle und Legierungen zu messen. ROTH (Braunschweig) zeigte ein Mikro-Verbrennungscalorimeter aus innen versilbertem V-2-A-Stahl mit Mikro-Beckmann-Thermometer. Es wird nur  $\frac{1}{5}$  der sonst üblichen Substanzmenge benötigt, allerdings bleibt die Genauigkeit vorläufig noch um die Hälfte hinter der in großen Kalorimetern erreichten zurück, die mittlere Abweichung des Ergebnisses beträgt etwa  $\frac{1}{2}$  Promille. GLASER (Würzburg) demonstrierte ein Erhitzungsmikroskop mit Temperaturmeßeinrichtung, das besonders für Untersuchungen in der Chemie der Silicate und der Schlacken bestimmt ist.

Eine Anzahl von Rednern führte uns in das Gebiet der immer noch in voller Entwicklung begriffenen Erforschung von *Krystallstrukturen* durch Röntgenstrahlen. So hat SIMON (Berlin) das Krystallgitter des festen Argons als kubisch flächenzentriert festgestellt und hieraus im Zusammenhang mit den sonstigen Eigenschaften auf das Kraftgesetz der anziehenden und abstoßenden Kräfte zwischen den Argonatomen im Krystall geschlossen<sup>2)</sup>. HASSEL (Berlin) hat die Gitter-

struktur des *Graphits* etwas abweichend von der bisher allgemein angenommenen gefunden. WEVER (Düsseldorf) hat sich mit der interessanten Frage nach der Konstitution der technischen *Eisen-Kohlenstoff-Legierungen* beschäftigt. Unter den verschiedenen Modifikationen des Eisens bildet das  $\gamma$ -Eisen mit dem Kohlenstoff Mischkristalle; Präzisionsmessungen nach dem Verfahren von DEBYE-SCHERRER führten nun zu dem Ergebnis, daß darin der Kohlenstoff nicht etwa an die Stelle eines Eisenatoms tritt, sondern sich in die Lücken des Gitters, und zwar an diejenigen Stellen einschiebt, wo er die geringste Deformation verursacht, nämlich in die Raummitte der flächenzentrierten Elementarwürfel. Im gehärteten Stahl dagegen, in dem das Eisen in der  $\alpha$ -Form vorliegt, läßt die durch den Kohlenstoff hervorgerufene Verbreiterung der Interferenzlinien bei beträchtlicher Aufweitung des Parameters darauf schließen, daß der Kohlenstoff atomdispers in dem  $\alpha$ -Eisen eingesprengt ist, womit die außerordentliche Härte des Gefüges zusammenhängt. Aber auch wenn man darauf verzichtet, die Röntgendiagramme in ihren Einzelheiten auszudeuten, können sie ein wertvolles diagnostisches Hilfsmittel bilden: dies zeigte RINNE (Leipzig) unter Vorführung einer großen Zahl von Röntgendiagrammen, die an feinpulverigen Mineralien und Kunstprodukten in einer besonderen, auf dem Drehverfahren von SCHIEBOLD beruhenden Apparatur aufgenommen und nach einheitlichem Schema in Skalen eingetragen waren. Sie lassen in zweifelhaften Fällen ein Urteil zu, ob man es mit amorphen oder kristallinen Stoffen, mit polymorphen oder identischen Modifikationen zu tun hat, ferner gestatten sie, z. B. die Vorgänge beim Brennen von Ton, von Tonerde oder von Kalkstein oder ähnliche Umwandlungen fester Stoffe zu verfolgen.

Wie verbreitet die Eigenschaft der *Polymorphie* ist, erörterte COHEN (Utrecht). Viele, ja vielleicht alle festen Stoffe sind als Mischungen mehrerer Modifikationen in unbestimmtem Verhältnis anzusehen. Dabei handelt es sich zum Teil um monotrope Formen, wie beim schwarzen und roten HgS, beim gelben und roten PbO, bei  $\alpha$ - und  $\beta$ -CdJ<sub>2</sub>, zum Teil um enantiotrope, wie bei NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> oder beim gelben und roten Thallumpikrat. Die Umwandlung kann in beiden Richtungen sehr langsam verlaufen, so daß z. B. von Siliciumdioxid bei Zimmertemperatur alle möglichen Formen nebeneinander bestehen, ja daß selbst in Gegenwart eines Lösungsmittels, das sonst die Umwandlungen beschleunigt, stabile und instabile Form, z. B. von Thallumpikrat, jahrelang nebeneinander beständig bleiben. Wo die einzelnen Formen noch nicht entdeckt sind, deutet die Unbestimmtheit der Eigenschaften oder ein Unterschied der Lösungswärme eines Salzes vor und nach dem Schmelzen (NaCl) auf Polymorphie. Der sicherste Nachweis ist natürlich auf röntgenographischem Wege möglich, durch den z. B. quadratisches und reguläres AgBr unterschieden worden ist.

Auch über das Wesen der *Mischkristallbildung* hat die durch die Röntgenographie entwickelte Krystallstrukturlehre neue Aufschlüsse gebracht. Nach GRIMM (München) müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein, wenn 2 Stoffe Mischkristalle oder auch nur „Schichtkristalle“ bilden sollen: Gleichheit des chemischen Bautypus, Gleichheit des Gittertypus und Ähnlichkeit der Gitterabstände, die höchstens etwa 5% voneinander abweichen dürfen. Dagegen ist chemische Analogie der beiden Stoffe nicht erforderlich, „im Krystallgitter wissen die Ionen nichts von Chemie“; Ähnlichkeit der Gitterparameter, die aus mannigfachen Ursachen durch Ausgleich zustande kommen kann, bewirkt das Zu-

<sup>1)</sup> Vgl. Naturwissenschaften 1924, S. 304.

<sup>2)</sup> Vgl. Naturwissenschaften 1923, S. 1015.



sammenkristallisieren chemisch durchaus verschiedener Stoffe. So kann sich NaBr auf PbS orientiert ausscheiden, RbCl mit NaJ Mischkrystalle bilden, obwohl sich sonst Rb und Na gar nicht, Cl und J nur schlecht vertreten. Andere Beispiele von neu beobachteten Mischkrystallen sind  $\text{CaCO}_3 + \text{NaNO}_3$ ,  $\text{NaOH} + \text{KBr}$ ,  $\text{BaSO}_4 + \text{KMnO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4 + \text{NaMnO}_4$  (dunkelviolette, lichtechte und unveränderliche Krystalle),  $\text{BaSO}_4 + \text{BaFeO}_4$  (wobei das Bariumferrat erst durch den Einbau beständig wird),  $\text{BaSO}_4 + \text{BaMnO}_4$  (die man sogar auf Textilfasern als färbenden Mischkrystall erzeugen kann).

Die wichtigste Frage für den Chemiker, nämlich nach den *Kräften*, die die *Atome einer Verbindung* zusammenhalten, ist durch die Entwicklung der Atomstrukturlehre mehr und mehr dem Physiker zugefallen. Hier haben die anschaulichen Vorstellungen von KOSSEL richtunggebend gewirkt, der die Molekelbildung polarer Verbindungen lediglich auf die elektrische Ladung und auf die die Entfernung bedingenden Volumina der Ionen zurückführte. Seine Theorie, die bekanntlich von autoritativer Seite abgelehnt wird, nahm BORN (Göttingen) in Schutz, indem er sie als eine erste, wohl für viele Fälle zu starke Näherung hinstellte. Sofern nicht besonders einfache symmetrische Verhältnisse vorliegen, müssen für die Berechnung der Kräfte zwischen den Ionen in zweiter Näherung noch die elektrischen Momente, die ihrerseits von der Deformierbarkeit der Elektronenhüllen abhängen, in dritter Näherung noch die Trägheitsmomente berücksichtigt werden. Räumlich gerichtet aber sind die so resultierenden Kräfte nur scheinbar; die Bildung von Verbindungen bestimmter Wertigkeit ist rein eine Frage der Bindungsenergie, die jeweils in den beständigen Verbindungen ein deutliches Maximum besitzt.

Die Deformierbarkeit der Elektronenhüllen, die danach einen wichtigen Faktor für die Art und Festigkeit der chemischen Bindung bildet, wird am besten gemessen durch die *Refraktion*. FAJANS (München), der diese Anschauung besonders entwickelt hat<sup>1)</sup>, behandelte diesmal die Refraktionswerte *organischer Verbindungen*. Wenn man deren molare Refraktion bisher in Atomrefraktionen zerlegt hat (unter Berücksichtigung verschiedener Bindungsart gewisser Atome), so war dies unbefriedigend und theoretisch unrichtig, weil anzunehmen ist, daß in den nichtpolaren Verbindungen die Elektronen, die ja die Refraktion verursachen, nicht mehr den einzelnen Atomen zugeordnet sind, sondern zum Teil mehreren Atomen gemeinsam zugehören. Auf der Grundlage der „Oktetttheorie“ von LEWIS und LANGMUIR entwickelte der Vortragende eine neuartige Zerlegung der Molrefraktion organischer Verbindungen, teils in Oktett-Refraktionswerte, teils in Bindungs-Refraktionswerte. Diese Betrachtungen erlauben, durch den Vergleich der Refraktionswerte, die danach die einzelnen Elemente in verschiedenen organischen und anorganischen Verbindungen zeigen, bestimmte Schlüsse auf die mit verschiedenen Bindungen verknüpften Deformationen und dadurch auf die Festigkeit dieser Bindungen zu ziehen.

Aus dem Gebiete der Atomtheorie seien noch kurz erwähnt die Vorträge von SIMON (Berlin), der festgestellt hat, daß die Abweichungen zwischen den theoretisch berechneten und den beobachteten *chemischen Konstanten* um so größer sind, je größer bei einatomigen Elementen die Verdampfungswärme, bei zweiatomigen die Dissoziationswärme ist, und von REIS (Karlsruhe), der *Bandenspektren* teils in wasserstoff-

reichen, teils in sauerstoffreichen Flammen erzeugt und dadurch die Zuordnung der einzelnen Banden zu bestimmten Molekelarten (Hydriden, Oxyden) wahrscheinlich gemacht hat.

HÖNIGSCHMID (München) berichtete über die Neubestimmung des *Atomgewichtes von Zirkon*, die durch den Hafniumgehalt aller älteren Zirkonpräparate notwendig geworden war und zu dem wahrscheinlichsten Wert von 91,2 für hafniumfreies Zirkon geführt hat.

*Aktiver Wasserstoff* ist seinerzeit von LANGMUIR entdeckt worden; er ist sehr reaktionsfähig und zweifellos einatomig. Daneben ist aber noch eine andere aktive Form beschrieben worden, die ebenfalls an heißen Drähten oder bei elektrischen Entladungen, nur bei höheren Drucken entsteht, ähnlich stark reduzierende Wirkungen besitzt wie H, aber für  $\text{H}_3$  gehalten wird. PANETH (Berlin) ist es gelungen, dieses Analogon des Ozons in präparativem Maßstabe darzustellen mittels Durchleiten von Wasserstoff durch glühende Palladiumcapillaren (weniger gut an glühenden Nernststiften, die dabei zerstört wurden). Es charakterisiert sich gegenüber dem gewöhnlichen Wasserstoff z. B. dadurch, daß es sich mit Schwefel bei gewöhnlicher Temperatur zu  $\text{H}_2\text{S}$  verbindet. Mit flüssiger Luft gekühlt, wird es kondensiert und verdampft wieder beim Erwärmen.

Ein schönes Beispiel für eine gründliche *Gleichgewichtsuntersuchung* gab von ANTROPOFF (Karlsruhe), der das System  $\text{KCl} + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$  zwischen  $-68^\circ$  und  $+180^\circ$  durch einige Tausend Analysen — und ähnlich das entsprechende Natriumsystem — nach allen Richtungen aufgeklärt hat; die in Tabellen und Diagrammen wiedergegebenen Ergebnisse besitzen technische Bedeutung für die Chloralkalielektrolyse. In ähnlicher Weise hat HÜTTIG (Jena) die Systeme der Lithiumhalogenide mit Wasser untersucht und daraus die Existenzgebiete ihrer Hydrate, deren Bildungswärmen und Affinitäten berechnet.

Die Probleme der *Reaktionsgeschwindigkeit* geben auch bei scheinbar einfachen Reaktionen seit Jahrzehnten immer neue Rätsel auf. BODENSTEIN (Berlin) ist es schon wiederholt gelungen, durch Verknüpfung sorgfältiger experimenteller Untersuchungen mit scharfsinnigen Deutungen recht verwickelte Verhältnisse dieser Art aufzuklären. Diesmal behandelte er die *Bromwasserstoff-Bildung* aus den Elementen im Dunkeln; deren sonderbare Geschwindigkeitsgleichung wird durch die Annahme einer kettenartigen Folge von Reaktionen gedeutet, bei der dissoziierte Br- und H-Atome die wesentliche Rolle spielen. Die Hemmung der Reaktion durch beigemengtes Jod führte zu einer schönen Bestätigung der Theorie. Diese erlaubt nun, die absolute Geschwindigkeit der Reaktion mit der aus der kinetischen Theorie gefolgerten Zahl der Zusammenstöße zu vergleichen und zu folgern, daß jeder Zusammenstoß zwischen 2 Bromatomen zur Bildung einer Brommolekel führt.

Bei der ebenfalls schon vielfach behandelten Kinetik der *Landolt'schen Reaktion* hat EGGERT (Berlin) einen neuen Zug entdeckt, nämlich ihre Beschleunigung durch sehr geringe Mengen von Natriumthiosulfat. Schon  $10^{-3}$  mg dieses Salzes in 100 cm Reaktionsmischung bewirken eine erhebliche Beschleunigung, und zwar wird, wie gezeigt werden konnte, nur ein bestimmter Teilvorgang beschleunigt. Der gleiche Erfolg wird auch durch einen in die Lösung hineingehängten Schwefelkrystall erzielt, was für die Aufklärung dieser Katalyse einen Fingerzeig gibt.

Daß reaktionskinetische Untersuchungen auch für in größtem Maßstabe ausgeführte alte technische Verfahren von Bedeutung sein können, ging aus dem Vor-

<sup>1)</sup> Vgl. Naturwissenschaften 1923. S. 165.



trage von ARRHENIUS (Stockholm) hervor. Es handelt sich dabei um die *Zellstoffgewinnung aus Holz*; die Durchrechnung entsprechender Laboratoriumsversuche führte zu interessanten Ergebnissen. Trotz der verwickelten Zusammensetzung des Holzes ließ sich die Auflösungsgeschwindigkeit sowohl der Cellulose wie die der „Inkrusten“ in der alkalischen Kochflüssigkeit im großen ganzen nach den Gleichungen der monomolekularen Reaktionen berechnen. Das Ziel, möglichst viel der Beimengungen und möglichst wenig Cellulose zu lösen, wird dadurch erschwert, daß der verschiedene Temperaturkoeffizient der beiden Vorgänge das Verhältnis bei höherer Temperatur immer ungünstiger gestaltet. Außerdem wurde die Wirkung gewisser Salze in der Kochflüssigkeit und gewisser Katalysatoren untersucht.

Von den *elektrochemischen* Vorträgen stand im Vordergrund des Interesses derjenige von HÜCKEL (Zürich), der als Mitarbeiter von DEBYE an der Ausgestaltung der *neuen Theorie der Elektrolyte* Anteil hat. Danach werden bekanntlich die starken Elektrolyte in wässriger Lösung stets als völlig dissoziiert angenommen und die scheinbaren Abweichungen ihres Verhaltens vom Zustande völliger Dissoziation auf die elektrischen Kräfte zwischen den Ionen zurückgeführt, die ihren osmotischen Druck, ihre Beweglichkeit und ihre Aktivität verringern. Die Koeffizienten, die diese Abweichungen zum Ausdruck bringen, lassen sich theoretisch als Funktionen der Konzentration und der Wertigkeit der Ionen berechnen, Funktionen, in die neben universellen Konstanten nur noch die Temperatur und die Dielektrizitätskonstante des Lösungsmittels eingehen. Dies sind jedoch nur Grenzformeln für sehr verdünnte Lösungen. Andernfalls spielt als individueller Zahlenfaktor noch der Ionenradius eine Rolle. Bei noch höheren Konzentrationen können schließlich die Aktivitätskoeffizienten größer als 1 werden, was auf abstoßende Kräfte zwischen entgegengesetzt geladenen Ionen hindeuten würde: tatsächlich wird dabei das Wasser wegen seiner hohen Dielektrizitätskonstante stärker von den Ionen angezogen als die entgegengesetzten Ionen. Auch dieser Einfluß, bei dem die Änderung der Dielektrizitätskonstante des Wassers durch die gelösten Ionen mitspielt, läßt sich in den Formeln zum Ausdruck bringen.

Eine andere Grundfrage der Elektrochemie behandelte STERN (Hamburg), nämlich die Theorie der *elektrischen Doppelschicht* an der Berührungsfläche zwischen einem Metall und der Lösung des entsprechenden Metallsalzes; die Natur dieser Doppelschicht ist entscheidend für die Elektrocapillarität, für die Polarisationskapazität und für die elektrophoretischen Erscheinungen. HELMHOLTZ nahm auf beiden Seiten nur je *eine* Schicht von Ionen an, so daß das Ganze wie ein Plattenkondensator wirken sollte: dem widersprechen aber die elektrokinetischen Erscheinungen. Aber auch die andere Annahme einer diffusen Doppelschicht, wonach die Ionen durch die Wärmebewegung in die Lösung hindiffundieren, stimmt nicht mit den Tatsachen. In Wirklichkeit muß man beide Vorstellungen miteinander verknüpfen, derart, daß sich an die Helmholtzsche Doppelschicht (mit steilem Potentialabfall) auf der Lösungsseite eine diffuse Schicht (mit allmählichem Potentialabfall) anschließt. Nur bei hohen Konzentrationen gilt die alte Vorstellung von HELMHOLTZ. Der Abfall in der diffusen Schicht steht in naher Beziehung zu dem  $\zeta$ -Potential von FREUNDLICH.

Einen Beitrag zu der vielumstrittenen Frage nach der Ursache der *Überspannung* bei der kathodischen

Entwicklung von Wasserstoff an verschiedenen Metallen lieferte GRUBE (Stuttgart). An Arsenkathoden (Kupfer mit Arsen überzogen) beobachtete er in Natronlauge verschiedener Konzentration die Gasentwicklung genau bei demjenigen Potential, das gasförmiger Arsenwasserstoff einer Arsenelektrode in der gleichen Lauge erteilt. Er folgert daraus, daß Arsen die Wasserstoffionen dadurch depolarisiert, daß es mit ihnen Arsenwasserstoff bildet, der dann bis auf Spuren sofort wieder zerfällt; wenigstens in diesem Falle würde danach die Überspannung durch die Bildung von Hydriden bedingt sein.

Noch vielseitiger als bei der Überspannung sind die Erklärungsversuche für die *Passivitätserscheinungen* bei Eisen und anderen Metallen. W. J. MÜLLER (Levakusen), der sich seit Jahrzehnten mit dieser Frage beschäftigt, zeigte hübsche kinematographische Aufnahmen der Passivierung von Eisenanoden. Er deutete die Beobachtungen im Sinne seiner eigenen Theorie, nach der die als Passivierung bezeichnete Änderung ihre Ursache im Metall selbst hat (Elektronenabspaltung) und die Deckschichtenbildung nur sekundär dabei mitwirkt.

E. MÜLLER (Dresden) führte seine elegante Anordnung zur elektrometrischen Chloridbestimmung vor und berichtete gleichzeitig über merkwürdige Beobachtungen, nach denen die Kurven der elektrometrischen Titration von Chloriden mit Silbernitrat an Platin- oder Palladium-Elektroden ganz analog verlaufen wie an Silberelektroden, nur nach edlerem Potential verschoben, gleich als ob es sich um Legierungen mit sehr geringem Silbergehalt handle.

GÜNTHER-SCHULZE (Physikalisch-Technische Reichsanstalt) berichtete über chemische Reaktionen in der Glimmentladung, die sich durch eine Steigerung des Kathodenfalls verraten, weil ein Teil der Ionen bei der Reaktion verbraucht wird.

Besonderes Interesse erregten die mit ausgezeichneter Experimentierkunst vorgeführten Versuche von POHL (Göttingen). Für die *lichtelektrische Leitfähigkeit* wurde die spektrale Verteilung an Zinnober gezeigt, der bei Bestrahlung mit rotgelbem Lichte maximalen Effekt aufweist. Beim Diamanten konnte die entgegengesetzte Wirkung von ultravioletten und ultraroten Strahlen — diese vernichten die Leitfähigkeit wieder — demonstriert werden. Ebenso wie die lichtelektrische Leitung ist auch die *Phosphoreszenz* ein Elektronenvorgang, der ebenfalls durch ultrarote Strahlung zerstört wird. Daß bei der Erregung und Vernichtung der Phosphoreszenz gleichzeitig die Dielektrizitätskonstante des Phosphors steigt oder fällt, machte der Vortragende durch eine geeignete Schaltung in eleganter Weise an der Tonhöhe eines Summers hörbar.

Sehr merkwürdige Erscheinungen an *Fluoreszenzlicht* führte WEIGERT (Leipzig) vor. Wird eine verdünnte Lösung von Fluorescein in Glycerin mit polarisiertem Licht bestrahlt, so ist auch das Fluoreszenzlicht zu erheblichem Teile polarisiert, nicht aber in konzentrierter Lösung. Mit Wasser als Lösungsmittel liegt es gerade umgekehrt: dort wird in konzentrierter Lösung die Polarisation begünstigt. Die Erklärung sucht der Vortragende — ähnlich wie bei dem Photochromismus in gewissen festen lichtempfindlichen Systemen — in einer Wechselwirkung zwischen den Farbstoffmolekeln untereinander und mit den Molekeln des Lösungsmittels, unter Bildung unbeständiger heteropolarer Molekeln (bimolekulares Fluorescein oder Fluorescein-Glycerin) von beträchtlicher Längenausdehnung, deren Richtung durch den gerichteten lichtelektrischen Effekt bestimmt wird und durch ihre große



Länge eine Zeitlang erhalten bleibt; bei ihrem Zerfall emittieren diese Molekeln das polarisierte Fluoreszenzlicht. Das unpolarisierte Fluoreszenzlicht aber wird als ein indirekter, sensibilisierter Vorgang aufgefaßt.

Unter Übergehung einiger *kolloidchemischer* Vorträge (LOTTERMOSER, Dresden; FRICKE, Münster; v. HAHN, Hamburg) sei zum Schluß noch auf 2 Berichte über *Präzisionsmessungen* hingewiesen. WÜST (München) hat die *Lösungswärme* einiger Alkalihalogenide von der äußersten Verdünnung bis zur Sättigung mit einer Genauigkeit bis auf wenige Promille bestimmt. TRAUTZ (Heidelberg) berichtete über langjährige Ver-

suche zur Messung der *spezifischen Wärme* von Gasen nach einem neuen Verfahren. Dabei wird ein kleiner Teil eines abgeschlossenen Gasvolumens durch einen Stromstoß erwärmt, derart, daß er die gesamte kleine Wärmemenge an das umgebende Gas abgibt; in einem zweiten, genau gleichen Gefäße wird ein Eichgas genau ebenso erwärmt und dessen Volumen durch eine Sperrflüssigkeit so lange geändert, bis zwischen beiden Gefäßen keine Druckdifferenz mehr auftritt. So gelang es, die spezifische Wärme bei konstantem Volumen bei 20° für CO<sub>2</sub> bis auf ± 0,001, für H<sub>2</sub> bis auf ± 0,002 genau zu messen. FR. AU.

## Dispersionsgesetz und Bohrsche Atomtheorie.

Unter dieser Überschrift veröffentlicht H. A. KRAMERS, Kopenhagen, in der „Nature“ vom 10. Mai 1924 eine interessante korrespondenzmäßige Ableitung der Beziehung zwischen Dispersion und der für Quantenübergänge charakteristischen Wahrscheinlichkeitskoeffizienten, über die hier berichtet werden soll.

Die Erscheinungen der Zerstreuung und Dispersion lassen sich bekanntlich weitgehend durch die Annahme beschreiben, daß die Atome unter dem Einfluß äußerer Strahlung kohärente Sekundärwellen ausenden. Rechnet man mit schwingungsfähigen, quasielastisch gebundenen Elektronen in den Atomen, so ergibt sich nach der klassischen Theorie für die Amplitude der erzwungenen Schwingung der Ausdruck:

$$P = E \frac{e^2}{m} \frac{1}{4\pi^2(\nu_1^2 - \nu^2)},$$

wenn  $e$  und  $m$  Ladung und Masse des Elektrons bedeuten und  $E$  die Amplitude der auffallenden Welle, deren Schwingungszahl  $\nu$  von der Eigenschwingung  $\nu_1$  des Elektrons genügend weit entfernt ist. Tatsächlich lassen sich die Messungen der Dispersion an Substanzen, die eine Reihe von Absorptionslinien  $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_s$  besitzen, mit beträchtlicher Genauigkeit durch die Formel

$$(1) \quad \frac{P}{E} = \frac{n^2 - 1}{4\pi N} = \sum_s f_s \frac{e^2}{m} \frac{1}{4\pi^2(\nu_s^2 - \nu^2)}$$

darstellen, in der  $n$  den Brechungsquotienten und  $f_s$ , gewöhnlich als Quotient der Zahl  $\mathfrak{N}$  der Dispersionselektronen und der Atomzahl  $N$  bezeichnet, eine für jede Absorptionslinie charakteristische Konstante bedeutet, die in der eben skizzierten klassischen Dispersionstheorie keine Erklärung findet.

Die Bohrsche Atomtheorie verwendet zur Deutung der Serienspektren an Stelle der quasielastisch gebundenen Elektronen ein ganz anderes Bild; nach der Bohrschen Vorstellung können die Atome einer Substanz, die an der Stelle  $\nu_s$  eine Absorptionslinie zeigt, unter dem Einfluß einer auffallenden Welle  $\nu_s$  einen Quantenübergang aus einem stationären Zustand ( $i$ ) in einen anderen ( $k$ ) ausführen, dessen Energie um den Betrag  $h\nu_s$  größer ist, und zwar ist nach dem Korrespondenzprinzip jeder derartige Übergang verknüpft mit der Anwesenheit einer bestimmten harmonischen Komponente der Bewegung des Atoms.

In diesem Bild scheint zunächst kein Raum für die Vorgänge der Zerstreuung und Dispersion, und doch ist gerade die Lage der Schwingungszahlen  $\nu_s$  der selektiven Absorption einer Substanz maßgebend für den Betrag ihrer Dispersion an irgendeiner Stelle  $\nu$  im Spektrum.

Auf Grund dieser engen Beziehung zwischen selektiver Absorption, Zerstreuung und Dispersion läßt sich

jedoch zeigen<sup>1)</sup>, daß die Größe  $f_s$  für Atome im Normalzustand  $i$  gleich ist:

$$(2) \quad f_s = \frac{g_k}{g_i} A_s \cdot \frac{\tau}{3};$$

dabei bedeuten  $g_i$  und  $g_k$  die statistischen Gewichte der zwei Atomzustände,  $A_s$  den von EINSTEIN eingeführten Wahrscheinlichkeitskoeffizienten des spontanen, mit Emission von Strahlung der Schwingungszahl  $\nu_s$  verknüpften Quantenüberganges aus  $k$  nach  $i$  und  $\tau = \frac{3m c^3}{8\pi^2 e^2 \nu_s^2}$  die Zeit, in der nach der klassischen

Theorie die Energie eines Oszillators der Ladung  $e$  und Masse  $m$  durch Ausstrahlung der Welle  $\nu_s$  auf den Bruchteil  $1/e$  sinkt ( $e =$  Basis des natürlichen Logarithmus). Die Quantengewichte und die Wahrscheinlichkeitskoeffizienten können bei bekanntem Bewegungszustand des Atoms angenähert berechnet, und damit die nach der klassischen Theorie unbestimmten Dispersionskonstanten  $f_s$  auf Eigenschaften des Atoms zurückgeführt werden. In der Tat hat sich in einigen einfachen, der Rechnung zugänglichen Fällen (Wasserstoff- und Natriumatom) eine befriedigende Übereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung ergeben<sup>2)</sup>.

Formal läßt sich die genannte Beziehung (2) im Anschluß an eine von BOHR eingeführte Annahme<sup>3)</sup> durch die Vorstellung beschreiben, daß das Atom auf die äußere Strahlung ähnlich reagiert wie ein System elektrischer Oszillatoren, deren Eigenschwingungszahlen  $\nu_s$  mit den bei den *möglichen* Quantenübergängen emittierten oder absorbierten Schwingungszahlen übereinstimmen; die Ladung und Masse dieser „Ersatzoszillatoren“ jedoch (jetzt „virtuelle Oszillatoren“ genannt) ist, wie man nach dem vorangehenden annehmen muß, von den entsprechenden Werten des Elektrons durch den Faktor  $f_s$  unterschieden.

Den oben gefundenen Zusammenhang (2) zwischen Dispersion und Übergangswahrscheinlichkeit kann man durch Korrespondenzbetrachtungen folgendermaßen erklären: Die Reaktion des Atoms auf die äußere Strahlung ist durch die Amplituden der mit den möglichen Quantenübergängen korrespondierenden harmonischen Komponenten bestimmt, und dadurch auch die Dispersion, wenn man die klassische Beziehung zwischen Refraktion ( $n^2 - 1$ ) und dem von der Welle erzwungenen

<sup>1)</sup> Vgl. R. LADENBURG, Zs. f. Phys. 4, 451. 1921; R. LADENBURG und F. REICHE, Bohr-Heft d. Naturwiss. 1923, S. 585ff.

<sup>2)</sup> Vgl. außer der genannten Arbeit im Bohr-Heft W. THOMAS, Zs. f. Phys. 24, 169. 1924; ferner W. C. HOYT, Phil. Mag. 47, 826. 1924.

<sup>3)</sup> N. BOHR, Zs. f. Phys. 13, 161/62. 1923.



elektrischen Moment  $P$  des Atoms übernimmt [erste Hälfte der Gl. (1)]; diese Amplituden aber hängen nach dem Korrespondenzprinzip in relativ einfacher Weise mit den Wahrscheinlichkeitskoeffizienten der Quantenübergänge zusammen<sup>1)</sup>.

Der heutige Stand der Quantentheorie erlaubt keine strenge Berechnung der Reaktion des Atoms auf die äußere Strahlung und der genannten Gesetzmäßigkeit (2). Dagegen läßt sich im Gebiet kleiner Frequenzen, wo sich benachbarte stationäre Zustände relativ wenig unterscheiden, die Rechnung durchführen, und dies hat nun KRAMERS getan. Er hat die Amplitude  $P$  des elektrischen Moments der nach FOURIER entwickelten Bewegung eines Atoms unter der Einwirkung einer äußeren Welle nach der klassischen Theorie berechnet, und indem er an Stelle der hierbei auftretenden Amplitudenquadrate der harmonischen Komponenten, mittels einer von ihm früher abgeleiteten Beziehung, die Übergangswahrscheinlichkeiten einführt, findet er für  $P$  den Ausdruck

$$(3) \quad P = E \sum_s A_s^a \tau_s^a \frac{e^2}{m} \frac{1}{4 \pi^2 (\nu_s^{a2} - \nu^2)} - E \sum_r A_r^e \tau_r^e \frac{e^2}{m} \frac{1}{4 \pi^2 (\nu_r^{e2} - \nu^2)};$$

hierin sind die Schwingungszahlen  $\nu_s^a$  den möglichen unter Absorption erfolgenden Übergängen des Atoms in einen höheren Quantenzustand zugeordnet, während die  $\nu_r^e$  den mit Emission begleiteten Übergängen in einen tieferen Zustand entsprechen. Die  $A_s^a$  und  $A_r^e$  sind die Wahrscheinlichkeitskoeffizienten der entsprechenden spontanen Übergänge, die in dem betrachteten Atomzustand enden bzw. von ihm ausgehen; dabei sind die Atome so orientiert gedacht, daß der elektrische Vektor der Strahlung, die mit den spontanen Übergängen verknüpft ist, parallel dem elektrischen Vektor der einfallenden Welle liegt. Man

<sup>1)</sup> Vgl. die zitierte Arbeit im Bohr-Heft S. 591.

muß also 2 Arten „virtueller Oszillatoren“ einführen: Absorptionsozillatoren von solcher Ladung  $e^*$  und Masse  $m^*$ , daß der Quotient  $\frac{e^{*2}}{m^*}$  den positiven Wert  $\frac{e^2}{m} A_s^a \tau_s^a$  besitzt, und Emissionsozillatoren, deren charakteristische Größe  $\frac{e^{*2}}{m^*}$  den negativen Wert  $-\frac{e^2}{m} A_r^e \tau_r^e$  besitzt. Nur dadurch erreicht man die notwendige korrespondenzmäßige Übereinstimmung zwischen klassischer Rechnung und Quantenformel (3) im Gebiet kleiner Schwingungszahlen. Die Oszillatoren mit negativem Wert des Quotienten  $\frac{e^{*2}}{m^*}$  stehen in engem Zusammenhang mit der „negativen“ Absorption, die EINSTEIN bei seiner Ableitung des Strahlungsgesetzes einführt.

Befinden sich die betrachteten Atome im Normalzustand, so fällt das 2. Glied der Gleichung (3) fort, und es ergibt sich die früher aufgestellte Beziehung (2) zwischen Dispersion und Übergangswahrscheinlichkeit, nur mit dem Unterschiede, daß hier die Quantengewichte gleich 1 gesetzt sind und der Faktor  $\frac{1}{3}$  fehlt, der erst bei räumlicher Mittelung über alle Orientierungen der Atome auftritt. Die vorliegenden Messungen erlauben noch keine Prüfung der vollständigen Beziehung (3).

Hervorzuheben ist, daß die Eigenschaften, z. B. die Schwingungszahlen, der den möglichen Quantenübergängen des Atoms zugeordneten virtuellen Oszillatoren nicht allein von dem betrachteten Atomzustand abhängen, sondern auch von den andern möglichen stationären Zuständen des Atoms, ohne daß bei dem zu beschreibenden Vorgang der Dispersion einer dieser möglichen Übergänge in einen anderen Quantenzustand stattzufinden braucht. Hierin offenbart sich die Unmöglichkeit, die hier angenommene Wechselwirkung zwischen Strahlung und Atomen auf Grund der heutigen kausalen Beschreibung der Naturvorgänge zu verstehen.

R. LADENBURG und F. REICHE.

## Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

### Über die Entstehung des Nordlichtspektrums.

Bemerkungen zu dem Artikel des Herrn G. CARIO.

Professor F. FRANCK ist so liebenswürdig gewesen, mir den Artikel von dem Herrn Dr. G. CARIO in Manuskript zu übersenden, und ich möchte dazu sofort folgendes bemerken:

Die von FRANCK und CARIO untersuchten Sauerstoffbanden sind mir schon wohl bekannt. Ich habe ja mehrere Jahre Erregungsversuche in Verbindung mit dem Nordlichtspektrum gemacht und habe dann natürlich zuerst Stickstoff, Sauerstoff und ihre Mischungen unter Anwendung der verschiedensten Anregungsbedingungen durchgesucht. Die beiden erwähnten Banden bekommt man übrigens ohne besondere Kunstgriffe unter einer Reihe von Bedingungen und oft besonders stark und dominierend im negativen Glimmlicht.

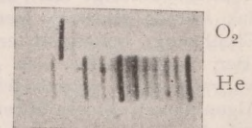
Ich glaubte auch mit eins, daß ich möglicherweise in dem gelbgrünen Sauerstoffbande die starke Nordlichtlinie gefunden hätte. Aufnahmen mit großer Dispersion und genaue Wellenlängenbestimmungen zeigten aber, daß es leider nicht der Fall war.

Diese Versuche wurden schon vor ein paar Jahren in Kristiania ausgeführt, und ich habe hier in Leiden

nicht das Zahlenmaterial und die Platten zur Verfügung. Da das Ergebnis nur ein negatives war, habe ich noch nicht Zeit gefunden, dies und eine Reihe anderer negativen Versuche zu veröffentlichen. In einer späteren zusammenfassenden Darstellung der Ergebnisse meiner Untersuchungen über das Nordlichtspektrum werde ich auch diese negativen Versuche kurz behandeln.

Die Ähnlichkeit der beiden Sauerstoffbanden mit dem Effekt in festem Stickstoff wie sie auf Spektrogrammen mit geringer Dispersion auftreten, ist ja in der Tat sehr auffallend, und um diese Ähnlichkeit zu zeigen, habe ich auch hier in Leiden in Verbindung mit Versuchen in festem Sauerstoff eine Aufnahme im negativen Glimmlicht des Sauerstoffs gemacht, wo besonders das gelbgrüne Band sehr stark hervortritt (s. die Figur).

Die Ähnlichkeit aber ist nur eine äußerliche und zufällige, und der Stickstoffeffekt hat nichts mit den Sauerstoffbanden zu tun. Den Stickstoffeffekt durch eine Anreicherung an der Kondensationsfläche von Spuren möglich vorhandenen Sauerstoffs zu erklären,





ist ausgeschlossen. Denn erstens ist bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs die Dampfspannung sowohl für Stickstoff als für Sauerstoff so gering, daß die beiden Gase sich gleich gut niederschlagen dürfen. Zweitens gibt fester Sauerstoff den im festen Stickstoff gefundenen starken und sehr charakteristischen Effekt nicht. Drittens wächst die Stärke des Effekts mit der Reinheit des Stickstoffs, und schon geringe Sauerstoffmengen genügen, um die Intensität des Stickstoffeffekts herunterzudrücken.

Hierzu kommt noch, daß der Stickstoffeffekt ein Nachleuchten zeigt. Es handelt sich in der Tat um eine Phosphoreszenzerscheinung, welche an einer unterhalb 35,5° Abs. existierenden Modifikation des festen Stickstoffs geknüpft ist.

Die Frage nach der theoretischen Erklärung dieses Phosphoreszenzeffektes ist ja eine sehr wichtige, und von dem, was wir wissen über andere Phosphore, wäre der Gedanke naheliegend, daß Spuren von gewissen fremden Stoffen notwendig seien, um dem festen Stickstoff die Phosphoreszenzeigenschaften beizubringen.

Vor allem wäre es ja von Interesse, zu wissen, ob Spuren von Sauerstoff eine Bedingung wäre; denn aus den Arbeiten von E. TIEDE wissen wir nämlich, daß geringe Spuren von Sauerstoff das Nachleuchten des gasförmigen Stickstoffs hervorrufen können.

Während eines Besuches in Berlin habe ich die Gelegenheit gehabt, diese Fragen mit Herrn Professor TIEDE zu besprechen, und er hat mich unter anderem auf seine Methoden für die Herstellung von sehr reinem Stickstoff aufmerksam gemacht. Für diesen Zweck hat er und Dr. A. SCHLEDE sehr reine Präparate von Bariumacid für meine Versuche hergestellt.

Für diese ebenso wertvolle wie liebenswürdige Hilfe möchte ich gern auch bei dieser Gelegenheit meinen besten Dank aussprechen.

Obwohl diese Versuche im reinsten Stickstoff noch nicht abgeschlossen sind, habe ich doch schon einige

sehr wichtige Experimente mit Bariumacidstickstoff ausgeführt.

Eine ausführlichere Beschreibung dieser Versuche wird später erscheinen, es darf hier nur erwähnt werden, daß natürlich dafür gesorgt war, daß das ganze Vakuumsystem vor der Stickstoffentwicklung bis zum metallischen Kontakt des Quecksilbers im MacLeod-Manometer ausgepumpt wurde. Dann wurde ein paar-mal mit Stickstoff nachgespült und ausgepumpt. Die Versuche selbst wurden in einem starken kontinuierlichen Stickstoffstrom vorgenommen.

Die Kathodenstrahlen erregten augenblicklich auf der Stickstoffoberfläche ein mehr als gewöhnlich helles Leuchten, und das Nachleuchten war vielleicht eben mehr ausgeprägt als im Luftstickstoff.

Ein zweiter Versuch mit neu hergestelltem Stickstoff ergab dasselbe Resultat.

Diese Versuche beweisen ohne weiteres, daß der Stickstoffeffekt nicht von den Sauerstoffbanden verursacht wird, und sie deuten mit Bestimmtheit darauf hin, daß auch nicht Spuren von Sauerstoff oder anderen fremden Stoffen für die Erregbarkeit des festen Stickstoffes notwendig sind. Wir stehen dann der merkwürdigen Tatsache gegenüber, daß ein chemisches Element phosphorisiert.

Wenn man den Stickstoffeffekt mit den früher bekannten Phosphoreszenzerscheinungen vergleichen will, muß man aber die Erregungsart klar vor dem Auge behalten. In den durch Licht erregten Phosphoren, z. B. den Erdalkaliphosphoren, bewirken die Zentren eine Überführung der Energie von Lichtquanten zu den langsamen Kathodenstrahlen, oder sie sind als Kathodenstrahlenquellen zu betrachten.

Wenn man aber direkt mit Kathodenstrahlen oder Korpuskularstrahlen anderer Art anregt, scheinen die aktiven Zentren nicht mehr eine notwendige Rolle in dem Leuchtvorgang zu spielen.

Leiden, den 4. Juli 1924.

L. VEGARD.

## Botanische Mitteilungen.

Über die morphologische Entwicklung der Flagellaten zu Algen. Die Flagellaten stellen eine Organismengruppe dar, die in sehr vieler Hinsicht die Grenze zwischen Pflanzen- und Tierreich überbrücken und deshalb besonders zu phylogenetischen Spekulationen herausfordern. Tatsächlich lassen sich von hier aus Entwicklungslinien in beide Organismenreiche verfolgen, ein Problem, das besonders durch PASCHER anregende Förderung erfahren hat. Während er in einer früheren Arbeit<sup>1)</sup> besonders die mutmaßlichen Entwicklungsetappen in der Richtung des Rhizopodenstammes verfolgt hat, die charakterisiert sind durch das immer stärkere Hervortreten rein animalischer Ernährung, behandelt er in einer neuen Mitteilung (Ber. d. dtsh. bot. Ges. 42. 1924) die Linien, die — wahrscheinlich polyphyletisch — in die verschiedenen Algenklassen hineinführen. Wir haben als Extreme auf der einen Seite die freibeweglichen, mit Cilien, Augenfleck und pulsierenden Vakuolen ausgestatteten Flagellaten, die nur vorübergehend in einen Ruhezustand (Spore, Cyste) übergehen, auf der andern Seite Algenfäden, deren Einzelzellen die für die Flagellaten bezeichnenden Merkmale verloren haben, die aber zeitweise (bei der Vermehrung!) freibewegliche, flagellatenähnliche Schwärmer produzieren. Phylo-

genetisch sind nun Cysten und Algenfäden einerseits und Flagellatenzustand und Schwärmer andererseits gleichzusetzen, und als Zwischenglied ist der einzellige unbewegliche Algenzustand einzureihen, wie er in allen maßgebenden Algengruppen wiederkehrt (Proto-coccus bei Chlorophyceen, Chryso-sphaera bei Chryso-phyceen usw.). Man hat sich also vorzustellen, daß im Zusammenhang mit der zunehmenden holophytischen Ernährungsweise der Cystenzustand mehr und mehr den Flagellatenzustand verdrängt hat, wie das übrigens schon innerhalb einzelner Flagellatengattungen konstatiert werden kann, wo Formen auftreten, die die längste Zeit encystiert sind und nur vorübergehend schwärmen. Mit solchen Cysten stimmen die einzelligen Algen durch Mangel von Geißeln und Augenfleck überein. Der Übergang zum vielzelligen Fadenzustand kann nun in folgender Weise verständlich gemacht werden. Während die einzelligen Algen bei der Vermehrung normalerweise die Schwärmer entlassen, treten Formen auf, bei denen diese in der Mutterzelle eingeschlossen bleiben („Autosporen“). Denkt man sich diesen Zustand stationär geworden und schubweise seriel wiederholt, dann gelangt man zu einem Algenfaden. Tatsächlich liegen nun nach PASCHERS Beobachtungen die Verhältnisse allgemein so, daß bei der Zellteilung 2 umhütete Einzelzellen entstehen, die in der ursprünglichen Zellhaut einge-

<sup>1)</sup> Vgl. Ref. Bd. 4, S. 108. 1916.



schachtelt sind, ein von der einfachen Durchschnürung der Zellen höherer Pflanzen durchaus abweichender Teilungstypus, der sich vielfach dauernd in der Wand-schichtung zu erkennen gibt. Indessen, es besteht bei dieser Ableitung noch eine Schwierigkeit: die Flagel-laten teilen sich längs, die typischen Fadenalgen septieren sich quer. PASCHER aber beschreibt primitive Formen von Fadenalgen, bei denen die Teilung tatsächlich längs angelegt wird und erst eine nach-trägliche Verlagerung der Tochterzellen um  $90^\circ$  statt-findet, und daran anschließend weitere, wo die Teilungs-spindel schräg gestellt ist, so daß die charakteristische Querteilung danach nur eine sekundäre mit der Faden-bildung in Zusammenhang stehende Erscheinung ist. Es handelt sich bei der Pascherschen Arbeit um die vorläufige Mitteilung von eigenen Untersuchungen und solchen seiner Schüler. Eine volle kritische Bewertung wird also erst nach dem Erscheinen der Hauptarbeiten möglich sein; indessen haben die geäußerten Gedanken-gänge etwas ungemünztes Bestechendes.

**Zur Lichtperzeption der Laubblätter.** HABERLANDT hat die bekannte Theorie aufgestellt, daß die photo-tropische Einstellung der Blätter reguliert wird durch die als Lichtsinnesorgane funktionierenden Epidermis-zellen der Blattoberseite. Diese wirken wie Sammellinsen, die bei senkrechtem Lichtaufschlag die Strahlen in der Mitte des Zellhintergrundes vereinigen. Treffen die Strahlen aber schräg auf, dann wird der helle Lichtfleck exzentrisch verlagert und das Blatt krümmt sich nun so lange, bis wieder symmetrische Licht-verteilung erzielt ist. Dabei wird dem Plasma der Epidermiszellen die Fähigkeit zugeschrieben, zwischen symmetrischer und asymmetrischer Lichtverteilung zu unterscheiden — die Lichtrichtung wird also nicht als solche perzipiert, sondern entsprechend den immer mehr durchbrechenden Auffassungen das Lichtintensitätsgefälle, wobei freilich bei den Blättern noch besondere Hilfsannahmen — eben die Beteiligung von Lichtsinnesorganen — herangezogen werden. Die Haberlandschen Vorstellungen sind von verschiedener Seite angefochten worden, und von besonderem Gewicht schien ein Einwand zu sein, der von NORDHAUSEN stammte. NORDHAUSEN hat vermittelt einer besonders dazu ersonnenen Methode die gewölbten Außenwände der Epidermiszellen abpoliert und berichtet nun darüber, daß auch unter solchen Verhältnissen noch eine photo-tropische Einstellung der Blätter erfolgt. Schon HABERLANDT hat sich gegen die Beweiskraft der Ver-suche NORDHAUSENS gewandt, die inzwischen nun von einem seiner Schüler, E. WERDERMANN, mit negati-vem Erfolg wiederholt worden sind (Beitr. z. allg. Bot. 2. 1923). Dabei hat WERDERMANN mit denselben Objekten, Blättern von Begoniaarten, gearbeitet. Das Abpolieren erfolgte, wie schon bei NORDHAUSEN, nicht auf der ganzen Oberseite, sondern um die Pflanze nicht zu sehr zu schädigen, wurden die Randpartien ausgespart und zur Verbindung der Lichtperzeption mit dunkelm Karton überzogen. Hierauf erfolgte schräge Belichtung. Es zeigte sich nun, daß zwar vereinzelte Blätter sich nunmehr dem veränderten Strahlengang entsprechend einstellen, der größere Teil führt aber regellose Krümmungen aus. WERDER-MANN spricht nun den Reaktionen der ersten Art den Charakter der Lichtkrümmung ab, weil bei erneut veränderter Lichtrichtung keine entsprechende Um-schaltung der Reaktion zu verzeichnen war — sie haben danach bloß zufällig die richtige Lichtlage erreicht. Daß das Ausbleiben einer Reaktion nicht etwa durch zu weitgehende Schädigung der Blätter zu erklären

ist, das ist aus der Tatsache ersichtlich, daß bei Ent-fernung des Kartons der Randzone vielfach eine prompte Reaktion erfolgt — die normalen Epidermis-zellen werden nun freigegeben. Danach dürfte den Nordhausenschen Ausstellungen der Boden entzogen sein.

**Über das Verhalten von Hypokotylen bei schräger Beleuchtung.** In früheren Untersuchungen<sup>1)</sup> hat H. v. GUTTENBERG für Haferkeimlinge den Nachweis erbracht, „daß die Höhe der phototropen Erregung vom Sinus des Neigungswinkels der Strahlen abhängt“ (Sinusgesetz beim Phototropismus). Die exakte zahlen-mäßige Ableitung dieser Verhältnisse stieß auf die Schwierigkeit, daß gerade die lichtempfindlichste Partie des gereizten Organs, die Koleoptilspitze, keine regel-mäßige Zylindergestalt aufweist, sondern konisch zu-gespitzt ist, wodurch der Strahlengang kompliziert wird. Um diese Schwierigkeit zu umgehen und um die Erfahrungen gleichzeitig auf eine weitere Pflanzen-gruppe — die Dikotyledonen — auszudehnen, unter-zog nun GUTTENBERG Keimlinge von Brassica Napus (Raps) denselben Versuchsbedingungen. Serien von Keimlingen erhielten gleichzeitig von der einen Flanke Horizontallicht, von der entgegengesetzten mit gleich starker Lichtquelle schräges Licht. Es ergab sich folgendes: bei einer Kombination von  $90^\circ$  (Horizontal-licht) und  $30^\circ$  (schräg von oben) wendeten sich alle Individuen dem Horizontallicht zu, entsprechend dem Intensitätsverlust, den das Licht bei schrägem Auffall erleidet. Bei der Kombination von  $90^\circ$  und  $60^\circ$  er-schienen nach 24 Stunden nur noch 75% der Pflanzen nach dem Horizontallicht gekrümmt, die übrigen gerade, ganz vereinzelte nach der anderen Flanke gewendet. Bei der Kombination  $30 : 80^\circ$  sanken die Krümmungen, die im Sinne des Horizontallichts erfolgten, auf 60%. Mehr und mehr äußert sich die Annäherung an die Unterschiedsschwelle. In all diesen Fällen ist die Krümmung nach der Seite des Horizontallichts nicht etwa so zu verstehen, als ob die Keimlinge sich nun in die horizontale Lichtrichtung eingestellt hätten, vielmehr kamen sie angenähert bei der Erreichung der Winkelhalbierenden zwischen den beiden Strahlen-büscheln, dem optischen Indifferenzpunkt, zur Ruhe. In einer zweiten Versuchsreihe wurden nun die beider-seitigen Lichtintensitäten derart gegeneinander ge-staffelt, daß das Produkt aus Lichtintensität  $\times$  Sinus des Einfallswinkels — also die physikalisch wirksame Lichtmenge — konstant war. Es zeigte sich nun, daß unter den so veränderten Verhältnissen die Krümmun-gen ausblieben: es herrscht Gleichgewicht. Das gilt aber nur mit einer gewissen Einschränkung: bei sehr starkem Einfallen des Schräglichts wendet sich ein beträchtlicher Teil der Keimlinge dem Horizontal-licht zu, bei der Kombination  $90 : 20^\circ$  sogar  $\frac{2}{3}$ . Diese scheinbare Durchbrechung des Gesetzes findet aber darin ihre befriedigende Erklärung, daß unter solchen Versuchsbedingungen ein erheblicher Teil des Lichtes reflektiert wird, also gar nicht photo-tropisch wirksam sein kann. Es ist eine selbstver-ständliche Folgerung aus dem Sinusgesetz, daß Keimlinge, wenn sie gleich stark antagonistisch von oben und unten gereizt werden, gerade bleiben müssen. Diese Erwartung hat sich in den Versuchen auch bestätigt mit bestimmten Ausnahmen bei sehr steilen Lagen, bei denen durch besondere, hier nicht vorher zu erörternde Momente die Verhältnisse kompliziert sind.

<sup>1)</sup> S. Ref. Bd. 11, S. 183.



Über das Verhalten einzelner Laubblätter nach Ausschaltung der übrigen Assimilationsorgane. Bei der Anwendung der gärtnerischen Methode der Blattstehlingsbildung hat man mitunter Gelegenheit, wahrzunehmen, daß Blätter, die für ausgewachsen gelten können, in einen erneuten Wachstumsprozeß eintreten. Desgleichen kann man häufig in stark gestutzten Alleebäumen (besonders Platanen) ganz erheblich gesteigerte Flächendimensionen bei den wenigen vorhandenen Blättern beobachten. Das zeigt, daß in einem Blatte noch Entwicklungsmöglichkeiten schlummern, die sich erst bei dem Auftreten besonderer Konstellationen offenbaren. In beiden geschilderten Fällen treten — das eine Mal durch völlige Isolierung, das andere Mal durch Entfernung des normalen Blätterdachs — quantitativ gesteigerte Forderungen an die Arbeitsleistung des Blattes heran, denen es nun nicht bloß durch räumliche Vergrößerung, sondern auch durch mannigfaltige Umgestaltungen im Inneren gerecht wird. Diese Vorgänge, über die schon eine Menge Detailangaben existieren, sind der Gegenstand einer neuen Untersuchung von Goos (Beitr. z. allg. Bot. 2. 1923). Verfasser stellt sich die Frage: „Wie verhält sich ein Blatt an einem Sproß, wenn man es durch Verdunkeln oder Abschneiden der übrigen Assimilationsorgane zwingt, die gesamte assimilatorische Leistung zum Aufbau des Organismus allein zu übernehmen?“ Als Versuchsobjekte dienten ihm dikotyle Kräuter, Stauden und Gehölze der verschiedensten Familien. Die hierbei gefundenen Veränderungen sind kurz folgende: Die Blätter nehmen an Größe zu und ihre Lebensdauer kann auf ein Mehrfaches erhöht werden (besonders Keimblätter!). Das Palisadengewebe erfährt eine wesentliche Verstärkung entweder durch bloße Streckung oder durch Zellteilung. Die Zahl der Chlorophyllkörner in den Palisaden wird vermehrt. Entsprechend dem stärkeren Verbrauch findet keine so beträchtliche Stärkespeicherung statt als in Vergleichsblättern, während die Ernährungstätigkeit — gemessen an der Produktion der Trockensubstanz — und die Transpiration pro Flächeneinheit gesteigert erscheint. Die Elemente in den Gefäßbündeln erfahren vielfach eine wesentliche Vermehrung, desgleichen verschiedentlich die mechanischen Gewebe, die ja bei der Volumvergrößerung in stärkerem Maße beansprucht werden. Alles das sind Erscheinungen, die ökologisch ohne weiteres verständlich sind: das Blatt paßt sich den gesteigerten Forderungen an. Wie diese Dinge entwicklungsphysiologisch zu erklären sind, das ist, wie in vielen entsprechenden Fällen, eine noch ungeklärte Frage. Mit den „Hormonhormonen“, die der Verfasser neben anderen Faktoren in Vorschlag bringt und die von dem darbedenden Vegetationspunkt ausgehen sollen, wird er nicht viel Anerkennung finden: sie sind wohl dem in der Gegenwart so verbreiteten „Hormonhunger“ entsprungen.

Über die phylogenetische Entwicklung des Spaltöffnungsapparates an Sporophyten der Moose. Dem phylogenetischen Entwicklungsgang der Spaltöffnungen bei den verschiedenen Moosgruppen geht KUHLEBRODT in einer besonderen Studie nach (Beitr. z. allg. Bot. 2. 1923). Entsprechend der Tatsache, daß bei den Moossporophyten zum ersten Male im Pflanzensystem Spaltöffnungen auftreten, darf man hier die

primitivsten Ausgestaltungsformen dieser im Dienste der Assimilation und der Transpiration stehenden Organe erwarten. Tatsächlich kann man hier sehr deutlich fortschreitende Entwicklungsreihen aufdecken. Am Anfang steht der sog. „Archetypus“ (Bryum, Hypnum, Bartramia usw.), charakterisiert dadurch, daß die Spaltzellen sich noch wenig von den benachbarten Epidermiszellen unterscheiden, daß die Zellwand ringsum ziemlich gleichmäßigen Durchmesser zeigt und daß die Öffnung in einfachster Weise „durch bloße Abrundung eines im Querschnitt ovalen Lumens“ bewirkt wird. Von hier aus lassen sich durch immer weiter gehende Differenzierung eine Reihe sehr charakteristischer besonderer Typen herausarbeiten (Funaria-, Polytrichum-, Mnium- und Anthocerotostypus), die dadurch gekennzeichnet sind, daß von Fall zu Fall verschieden gestellte Verdickungsleisten auftreten, die ganz bestimmte Formveränderungen beim Spiel der Spalten zur Folge haben, daß verdünnte Gelenkstellen eingeschaltet werden, welche die gegenseitigen Wandverschiebungen erleichtern, daß der Spaltporus in Vorhof, Zentralspalte und Hinterhof gegliedert wird, daß eine Verlagerung der Spalten in die Tiefe stattfindet usw. Auf diese Weise entfernen sich die Spaltöffnungszellen mehr und mehr von den gewöhnlichen Epidermiszellen, von denen sie sich ja entwicklungs-geschichtlich ableiten. Systematisch bedeutungsvoll ist, daß bestimmten Verwandtschaftsgruppen zumeist auch ganz spezifische Typen zugeordnet sind. Der Anthocerotostypus schließt sich in sehr auffälliger Weise an die Farnpflanzen an, und tatsächlich sind auch die Anthoceroten auf Grund verschiedener anderer Merkmale in verwandtschaftliche Beziehungen zu den Pteridophyten gesetzt worden. Neben der hier skizzierten progressiven Entwicklung gibt es bei zahlreichen Gattungen auch eine regressive, eine fortschreitende, in allen ihren Etappen verfolgbare Verkümmern, die dazu führen kann, daß die Unterschiede gegenüber den Epidermiszellen sekundär verwischt werden können. Dabei beobachtet man genau dieselben Bilder, die auch bei der Reduktion der Spalten bei den höheren Pflanzen auftreten. Und wie nun solche Reduktionen bei den Blütenpflanzen geknüpft sind an Organe, die an der Assimilation nicht teilnehmen (Blütenblätter, Fruchtwände, Staubgefäße, Rhizome usw.), sowie an solche Pflanzenarten, die zur saprophytischen oder parasitischen Lebensweise übergegangen sind, der Assimilation also mehr minder weitgehend überhaupt entsagt haben (Schuppenwurz, Nestwurz, Fichtenspargel), so scheint sich ein entsprechender Zusammenhang auch bei den Moosen zu ergeben. Bei manchen Gattungen ist der Sporophyt ernährungsphysiologisch noch recht selbständig, was sich an dem gut durchgebildeten Assimilationsgewebe zu erkennen gibt (Funariatypus usw.); hier sind nun viele und hochdifferenzierte Spalten vorhanden. Auf der anderen Seite gibt es Formen, bei denen der Sporophyt seinen autotrophen Charakter verliert und in vollständige Abhängigkeit von dem Gametophyten gerät, dem er wie ein Schmarotzer alles Nötige entzieht: hier werden die Spalten der Zahl und der Gestaltung nach abgebaut. Wir haben hier also sehr schöne konvergente Entwicklungslinien.

STARK.