Sitzungsberichte

der

Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

BUREAU OF
AMERICAN ETHNOLOGY.
1907
LIBRARY.

Jahrgang 1906.

Marburg.
R. Friedrich's Universitäts-Buchdruckerei (Inhaber Karl Gleiser).
1907.

Sitzungsberichte

der

Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Jahrgang 1906.

Marburg.
R. Friedrich's Universitäts-Buchdruckerei (Inhaber Karl Gleiser).
1907.

Inhalts-Angabe.

		Seite
Herr	*Disse*: Über das Verhalten des Schleims im Magen von Neugeborenen	1
„	*Neumann*: Über den Einfluss von Wärmeleitung und Reibung auf die Strömungen von Gasen	11
„	*Ach*: Experimentell-psychologische Untersuchungen über den Willen	22
„	*Schaum*: Über Farben an photographischen Schichten	29
„	*Schulze*: Über den Einfluss der Gleitung auf die Schallgeschwindigkeit in Röhren	34
„	*Schulze*: Über die Schwingungen von mehreren mit einander magnetisch gekoppelten elektrischen Schwingungskreisen	45
„	*Römer*: Über intestinale Antitoxinresorption	51
„	*Aschoff*: Über Untersuchungen des Herrn Dr. Bennecke, die Einwanderung von Russ in die Lungen betreffend	63
„	*Schulze*: Über die Änderung der Dielektricitätskonstante durch mechanische Deformationen und Temperaturänderungen	75
„	*Schulze*: Über einen Rechenschieber und eine Rechentafel zur Berechnung von Potenzen mit beliebigen Exponenten	86
„	*Schridde*: Über die Basalmembran der menschlichen Epidermis	95
„	*Römer*: Milch unter dem Einfluss des Lichtes	101
„	*Iwanoff*: Über ein experimentelles Brocken-Gespenst	120
„	*Richarz*: Über die Fortsetzung der Versuche des verstorbenen ordentlichen Mitgliedes Joh. Kiessling durch Herrn Erich Barkow	123
„	*Schenck*: Über die physiologischen Grundlagen des Farbensinns	133
	Discussion dazu	154
„	*Achelis*: Über den Nachweis einer neuen toxischen Base im Harn (Methylguanidin)	165
„	*Richarz*: Über eine Beobachtung des künstlichen Brockengespenstes	173
„	*Wigand*: Über die Gültigkeit des Gesetzes von Dulong und Petit	185
„	*Richarz*: Erweiterungen seiner Theorie des Gesetzes von Dulong und Petit	187
„	*Wigand*: Über die Allotropie beim Zinn und Schwefel	196
„	*Seddig*: Beobachtungen an seismischen Wellen und Schlussfolgerungen	205
„	*Seddig*: Bemerkungen zu einem Referate	211

Aufgelegte Schriften: S. 27; 61; 93; 171; 212.

Verzeichniss der Mitglieder*)

(am Schluss des Jahres 1906).

Ehrenmitglieder.

Retzius, Gustav, Prof. emerit. der Anatomie, Stockholm . . 18. 1. 99.
Marchand, Felix, Dr. med., o. Prof. der path. Anat., Geh. Med.-Rat, Leipzig . . . . . 9. 1. 01.
Hittorf, Wilhelm, Dr. phil., o. Prof. der Physik, Geh. Reg.-Rat, Münster . . . . . 19. 11. 01.

Einheimische Mitglieder.

A) Ordentliche.

Ahlfeld, Friedrich, Dr. med., o. Prof. der Gynäkologie, Geh. Med.-Rat . . . . . 11. 7. 83.
Bach, Ludwig, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie . . 28. 11 00.
Bauer, Max, Dr. phil., o. Prof. d. Mineralogie, Geh. Reg.-Rat 11. 3. 85.
v. Behring, Emil, Dr. med., o. Prof. d. Hygiene, Wirkl. Geh. Rat 15. 5. 95.
Beneke, Rudolf, Dr. med., o. Prof. d. pathol. Anatomie . . 14. 11. 06.
Bonhoff, Heinrich, Dr. med., o. Prof. der Hygiene 9. 3. 04 (8. 11. 99.)
Disse, Joseph, Dr. med., a.o. Prof. d. Anatomie u. I. Prosector 13. 11. 95.
Feussner, Wilhelm, Dr. phil., a.o. Prof. der Physik . . . 14. 7. 81. (10. 6. 69.)
Fischer, Theobald, Dr. phil., o. Prof. d. Geographie, Geh. Reg.-Rat 28. 11. 83.
Gasser, Emil, Dr. med., o. Prof. d. Anatomie, Geh. Med.-Rat 27. 1. 88. (16. 7. 74.)
Heffter, Arthur, Dr. med. et phil., o. Prof. d. Pharmakologie 14. 11. 06.
Hensel, Kurt, Dr. phil., o. Prof. der Mathematik . . . . 10. 12. 02.
Kayser, Emanuel, Dr. phil., o. Prof. der Geologie . . . . 13. 1. 86.
Kohl, Friedrich Georg, Dr. phil., a.o. Prof. der Botanik . . 13. 11. 95. (6. 8. 84.)
Kohlrausch, Friedrich, Dr. phil., Präsident der physikalisch-technischen Reichsanstalt a. D. . . . . 8. 2. 05.
Korschelt, Eugen, Dr. phil., o. Prof. der Zoologie . . . . 26. 7. 93.
Küster, Ernst, Dr. med., o. Prof. d. Chirurgie, Geh. Med.-Rat 4. 11. 91.
Mannkopff, Emil, Dr. med., o. Prof. d. inn. Med., Geh. Med.-Rat 8. 5. 67.
Meyer, Arthur, Dr. phil., o. Prof. der Botanik . . . . . 4. 11. 91.
Ostmann, Paul, Dr. med., a.o. Prof. der Otologie . . . . 13. 11. 95.
Rathke, Bernhard, Dr. phil., o. Hon.-Prof. der Chemie . . 14. 3. 84.
Richarz, Franz, Dr. phil., o. Professor der Physik . . . . 15. 5. 01.
Schaum, Carl, Dr. phil., a.o. Professor der physical. Chemie (11. 8. 97.) 13. 12. 05.
Schenck, Friedrich, Dr. med., o. Professor der Physiologie . 15. 5. 01.

*) Die Daten bedeuten den Tag der Ernennung, die in Parenthese gesetzten Daten den Tag der Ernennung zum ausserordentlichen Mitglied.

Schmidt, Ernst, Dr. phil., o. Prof. d. pharm Chem., Geh. Reg.-Rat 11. 3. 85.
Tuczek, Franz, Dr. med., o. Prof. der Psychiatrie, Geh. Med.-Rat 15. 5. 95. (14. 3. 90.)
Zincke, Theodor, Dr. phil., o. Prof. d. Chemie, Geh. Reg.-Rat . 13. 1. 76.

B) Ausserordentliche.

Brauer, Ludolf, o. Prof. d. Med., Director d. medic. Klinik 14. 12. 04.
v. Dalwigk, Friedrich, Dr. phil., Privatdoc. der Mathematik 9. 5. 00.
v. Drach, Alhard, Dr. phil., a.o. Prof. der Mathematik . . 11. 7. 66.
Fries, Carl, Dr. phil., Abteilungsvorsteher am chem Institut 9. 3. 04.
Haselhoff, Emil, Dr. phil., Director d. landw. Versuchsstation 11. 2. 03.
Hess, Otto, Dr. med., Privatdoc. d. inn. Med., Oberarzt d. med. Klin. 25. 6. 02.
Hildebrand, Heinrich, a.o. Professor der Medicin . . . . 14. 12. 04.
Jahrmärker, Max, Dr. med., Privatdoc., Oberarzt d. psychiatr. Klin. 9. 2. 04.
Jung, Heinrich, Dr. phil., Privatdocent der Mathematik . 13. 12. 05.
Küttner, Hermann, Dr. med., o. Professor der Chirurgie . . 2. 8. 05.
Kutscher, Friedrich, Dr. med., Privatdocent der Physiologie 16. 2. 98.
Lohmann, Alfred, Dr. med., Privatdocent der Physiologie 8. 2. 05.
Lorenz, Theodor, Dr. phil., Privatdocent der Geologie . . . 14. 11. 06.
Meisenheimer, Johannes, Dr. phil., Priv.-Doc. der Zoologie 16. 2. 98.
Neide, Ernst, Dr. phil. . . . . 13. 1. 04.
Neumann, Ernst, Dr. phil., a.o. Professor der Mathematik . 13 12. 05.
Oestreich, Carl, Dr. phil., Privatdocent der Geographie . . 9. 3. 04.
Opitz, Erich, Dr. med., a.o. Professor der Medicin . . . . 13. 1. 04.
Reissert, Arnold, Dr. phil., Privatdocent d. Chemie, Professor 11. 2. 03.
Rieländer, August, Dr. med., Privatdocent der Gynaekologie 13. 6. 06.
Römer, Paul, Dr. med., Privatdocent der Hygiene, Abteilungsvorsteher am hygienischen Institut . . . . . 9. 2. 04.
Rupp, Erwin, Dr. phil., Privatdocent der Chemie, Professor, Abteilungsvorsteher am pharmaceut.-chemischen Institut 14. 12. 04.
Schmidt, Carl, Dr. phil., Reg.-Rath a. D. . . . . 19. 6. 01.
Schulze, Franz Arthur, Dr. phil., Privatdocent der Physik . 31. 7. 01.
Schwantke, Arthur, Dr. phil., Assistent am mineral. Institut 21. 6. 99.
Seddig, Max, Dr. phil., Assistent am physicalischen Institut 17. 6. 03.
Siebert, Carl, Dr. phil., Chemiker . . . . . 14. 5. 02.
Thumb, Albert, a.o. Prof. der indogermanischen Sprachen . 14. 2. 06.
Tönniges, Carl, Dr. phil., Assistent am zoolog. Institut . . 16. 2. 98.
Weidenmüller, Carl, Dr. phil., Gymn.-Oberlehrer a. D., Prof. 14. 4. 82.
Zumstein, Jacob, Dr. med., Priv.-Doc. d. Anat., Prof., 2. Prosector 16. 2. 98.

Auswärtige Mitglieder.*)

Ach, Narciss, Dr. med. et phil., Professor, Privatdocent der der Philosophie, Berlin . . . . . (8. 2. 05.)

*) Die mit einem * bezeichneten sind correspondirende, die sämmtlichen übrigen ehemalige einheimische Mitglieder.

Aschoff, Ludwig, o. Prof. d. patholog. Anatomie, Freiburg i. Br. 17. 6. 03.
Axenfeld, Theodor, Dr. med., o. Prof. d. Ophthalm., Freiburg i. Br. (15. 1. 96.)
Barth, Adolf, Dr. med., o. Prof. der Otologie, Leipzig . . . 4. 11. 91.
Barth, Arthur, Dr. med., Prof., Oberarzt, Danzig . . . . (13. 11. 95.)
Böhm, Rudolf, Dr. med., o. Prof. d. Pharmak., Geh. Med.-Rat, Leipzig 20. 5. 81.
Borrmann, Rob., Dr. med., Priv.-Doc. d. path. Anatomie, Göttingen (14. 5. 02.)
Brauer, August, Dr. phil., a.o. Professor, Director des naturhistorischen Museums, Berlin . . . . . 17. 5. 99.
(17. 6. 96.)
Braun, Ferdinand, Dr. phil., o. Prof. der Physik, Strassburg (8. 2. 78.)
Braun, Heinrich, Dr. med., o. Prof. der Chirurgie, Geh. Med.-Rat, Göttingen . . . . . 14. 3. 90.
Brauns, Reinhard, Dr. phil., o. Prof. der Mineralogie, Kiel . (27. 1. 88.)
Buchholz, Albert, Dr., med, Prof., Oberarzt, Hamburg . . 8. 12. 97.
Busz, Carl, Dr. phil., o. Prof. der Mineralogie, Münster . . (19. 6. 95.)
Debus, Dr. phil., Prof., Cassel . . . . . (16 11. 59.)
Dietrich, Theodor, Dr. phil., Prof., Geh.-Reg.-Rat, Hannover (15. 1. 96.)
Dohrn, Rudolf, Dr. med., o. Prof. der Gynäkologie, Geh. Med.-Rat, Dresden . . . . . 10. 2. 64.
Drevermann, Fritz, Dr. phil., Frankfurt . . . . . 11. 2. 03.
Enderlen, Eugen, Dr. med., Professor der Chirurgie, Basel 12. 2. 97.
Falk, Ferdinand, August, Dr. med., a.o. Prof. d. Pharmakol., Kiel 28. 4. 75.
Fraenkel, Carl, Dr. med., o. Prof. der Hygiene, Halle . . . 4. 11. 91.
Fritsch, Paul, Dr. phil., Prof., Berlin . . . . . (24. 4. 96.)
Fürstenau, Eduard, Dr. phil., Geh. Reg.-Rat, Berlin . . . (25. 4. 60.)
Gadamer, Johannes, Dr. phil., o. Prof. d. pharmaceut. Chemie, Breslau . . . . . (9. 3. 98.)
Goebel, Carl, Dr. phil., o. Prof. der Botanik, München . . 27. 1. 88.
Heine, Leopold, Priv.-Doc. der Ophthalmologie, Breslau . . (18. 1. 99.)
Hermann, Theodor, Dr. phil., Hanau . . . . . (2. 7. 68.)
Hess, Carl, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmol., Würzburg 11. 11. 96.
Heusler, Fritz, Dr. phil., Dillenburg . . . . . 8. 2. 05.
v. Koenen, Adolf, Dr. phil., o. Prof. der Geologie, Geh. Berg-Rat, Göttingen . . . . . 28. 4. 75.
Kossel, Albrecht, Dr. med., o. Prof. der Physiol., Heidelberg 15. 5. 95.
Krehl, Ludolf, Dr. med., o. Prof. d. inn. Med., Strassburg 8. 11. 99.
Küster, Fr. Wilh., Dr. phil., o. Prof. d. Chemie, Klausthal . (26. 7. 93.)
Loewi, Otto, Dr. med., a.o. Prof. der Pharmakologie, Wien 15. 5. 01.
Lotz, Heinrich, Dr. phil., Geologe, Berlin . . . . . (13. 12. 99.)
Mannel, Gottfried, Dr. med., Geh. Hofrat, Arolsen . . . . (31. 8. 64.)
Meyer, Hans, Dr. med., o. Prof. der Pharmakologie, Wien 11. 3. 85.
Müller, Friedrich, Dr. med., o. Prof. d. inn. Medicin, München 26. 7. 93.
Nebelthau, Eberhard, Dr. med., a.o. Prof. d. inn. Med., Halle a. S. 26. 4. 98.
(15. 5. 95.)
Noll, Alfred, Dr. med., a.o. Prof., Jena . . . . . (16. 2. 98.)

Pfannkuch, Wilh., Dr. med., pract. Arzt, Cassel	(17. 1. 72.)
Pfeffer, Wilhelm, Dr. phil., o. Prof. d. Botanik, Geh. Hofrat, Leipzig	(27. 4. 71.)
Plate, Ludwig, Dr. phil., Priv.-Doc. der Zoologie, Prof., Berlin	(27. 1. 88.)
Plenge, Enriquez, Dr. med., Heidelberg	(7. 3. 99.)
Ransom, Frederick, Dr. med.	(7. 3. 99.)
**Rehn, Joh. Heinrich*, Dr. med. San.-Rat, Frankfurt. a. M.	26. 11. 80.
Rein, Johannes, Dr. phil., o. Prof. d. Geogr., Geh. Reg.-Rat, Bonn	1. 12. 76.
Ribbert, Hugo, Dr. med., o. Prof. d. pathol. Anatomie, Bonn	20. 6. 00.
Romberg, Ernst, Dr. med., o. Prof. der klin. Medicin, Tübingen	20. 6. 00.
Rost, Eugen, Dr. med., Hülfsarb. am Reichs-Gesundh.-Amt, Berlin	(16. 2. 98.)
Rubner, Max, Dr. med., o. Prof. d. Hyg., Geh. Med.-Rat, Berlin	13. 1. 86.
Rumpf, Theodor, Dr. med., Prof., Bonn	14. 3. 90.
Ruppel, Wilhelm, Dr. phil., Prof., Höchst	(18. 7. 00.)
Schell, Wilhelm, Dr. phil., o. Prof. d. Math, Geh. Rat, Karlsruhe	29. 4. 57. (13. 2. 56.)
Schenck, Rudolf, Dr. phil., o. Prof. d. phys. Chemie, Aachen	(11. 8. 97.)
Schmidt-Rimpler, Hermann, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Halle	15. 11. 71.
Schottelius, Max, Dr. med., o. Prof. d. Hyg., Hofrat, Freiburg i. B.	(11. 7. 79.)
Schridde, Hermann, Dr. med., Privatdoc. d. pathol. Anatomie, Freiburg i. Br.	(13. 12. 05.)
Seemann, John, Dr. med., Privatdoc. d. Physiologie, Giessen	5. 6. 02.
Siemens, Friedrich, Dr. med., Geh. Med.-Rat, Dir. d. Landesirrenanstalt Lauenburg i. P.	(19. 12. 79.)
**Speck, Carl*, Dr. med., San.-Rat, Kreis-Physik., Dillenburg	5. 4. 71.
Strahl, Hans, Dr. med., o. Prof. der Anatomie, Giessen . .	27. 1. 88. (14. 12. 80.)
Straub, Walther, Dr. med., o. Prof. d. Pharmakol., Würzburg	(13. 12. 05.)
Study, Eduard, Dr. phil., o. Prof. d. Mathematik, Bonn . .	(14. 3. 90.)
Uhthoff, Wilhelm, Dr. med., o. Prof. der Ophthalmologie, Geh. Med.-Rat, Breslau	4. 12. 91.
Weber, Heinrich, Dr. phil., o. Prof. d. Mathematik, Strassburg	11. 3. 85.
Wendel, Walther, Dr. med., Professor, Director des städtischen Krankenhauses Magdeburg-Sudenburg	(12. 2. 02.)
Wernicke, Erich, Dr. med., Prof., Director des hygien. Instituts in Posen	16. 2. 98. (10. 2. 97.)
Wüllner, Adolf, Dr. phil., o. Prof. der Physik, Geh. Reg.-Rat, Aachen	(8. 12. 58.)

Der Vorstand.

M. Bauer, Vorsitzender. *J. Disse*, Ständiger Schriftführer.

Engerer Ausschuss.

E. Korschelt, Stellvertretender Vorsitzender, *F. Richarz*, *F. Schenk*.

Sitzungsberichte

der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Nr. 1 **Januar** **1906**

In der Sitzung vom 24. Januar 1906 sprach Herr Prof. Disse:

Über das Verhalten des Schleims im Magen von Neugeborenen.

Wenn nach der Geburt die Nahrungsaufnahme beginnt, wird der gesammte Verdauungsapparat fast ebenso sehr, wie die äussere Haut, für die Gegenstände zugänglich, die in der Umgebung des Neugeborenen vorkommen. Nicht nur die eingeführte Nahrung gelangt vom Mund aus in den Verdauungstractus hinein; ihr mischen sich Fremdkörper aller Art bei, die mit der Luft eingeatmet werden, oder die mit Geräthen, durch die eigenen oder durch fremde Hände in den Mund eingeführt werden und hier liegen bleiben. Besonders gilt das von kleinsten Partikeln, die dem Staube beigemischt sind; und unter diesen interessieren uns vornehmlich pathogene Bakterien. Ein Teil davon wenigstens gelangt, mit heruntergeschlucktem Speichel oder mit der Nahrung, in den Magen hinein.

Was nun in der Mundhöhle, oder auch im Magen oder im Darm befindlich ist, liegt noch nicht innerhalb des Organismus; es befindet sich auf dessen nach Innen gekehrter Oberfläche. Ob es für eine Bakterienart z. B. möglich ist, von dieser Oberfläche aus in den Organismus zu gelangen, hängt von Umständen

ab; es giebt Einrichtungen, die das Eindringen begünstigen, und andere, die es erschweren. Als begünstigende Momente müssen wir kleine Defecte, kleine Lücken in dem zusammenhängenden inneren Überzuge der Schleimhaut des Verdauungstractus, also in ihrem Epithel, betrachten; an bestimmten Stellen, z. B. an den Gaumen- und den Rachenmandeln, gelegentlich schon an der Innenfläche der Unterlippe. ferner an bestimmten Regionen des Dünndarms und des Dickdarms, wird das Epithel von Zügen durchwandernder Zellen aufgelockert, porös gemacht, so dass es von vielen feinen Gängen durchbohrt erscheint. In dieses Lückensystem gelangte Bakterien können das Epithel durchdringen, die tiefer gelegenen Lymphbahnen erreichen, und durch den Saftstrom in der Nachbarschaft verbreitet werden; sie können auch in Blutgefässe eindringen und durch den Blutstrom überall hin verschleppt werden.

An den meisten Punkten der innern Oberfläche dagegen wird das Eindringen von Fremdkörpern, besonders von Bakterien, erheblich erschwert; wir treffen hier Schutzvorrichtungen an, die die Einwanderung fremder Elemente hintanhalten. Innerhalb der Mundhöhle, und in der Speiseröhre, ist das Epithel verhornt, und die relativ dicke verhornte Lage lässt nichts passiren; innerhalb der Atmungsorgane, vom Eingange des Kehlkopfs ab liegt auf dem Epithel eine Lage von Schleim auf, welche mechanisch die darauf treffenden kleinsten Fremdkörper festhält, einhüllt, und mitnimmt, wenn der Schleim herausbefördert wird.

Auch im Magen und im Darmkanal finden wir in der Regel eine schützende Schleimlage vor; besonders im Magen, in dem ja Alles, was hineingelangt, längere Zeit liegen bleibt, ist diese Schleimlage charakteristisch entwickelt. Sie bildet einen wesentlichen Bestandteil des Epithels der Magenschleimhaut. Die Schleimhaut verläuft nicht glatt, sondern ist in zahlreiche Falten gelegt, so dass sich die Oberfläche bedeutend vergrössert; diese Vergrösserung wird nun noch dadurch gesteigert, dass auf jeden Quadratmillimeter der Schleimhaut eine Anzahl feiner, kegelförmiger Vertiefungen kommt, die Magengrübchen.

Jeder Durchschnitt der Magenschleimhaut trifft eine Anzahl dieser Grübchen; dieselben erscheinen durch wallartige Schleimhautpartieen getrennt, welche man als die Leisten der Schleimhaut bezeichnet. Auf dem Durchschnitt erscheint demnach die Oberfläche der Schleimhaut nicht eben, sondern wellig; die Täler sind die Durchschnitte der Magengrübchen. In jedes Magengrübchen mündet eine Anzahl schlauchförmiger Drüsen ein. Zwischen den Drüsen liegen durch spärliches Bindegewebe verbunden, die Blutgefässe der Schleimhaut; ganz an der äusseren Fläche treffen wir vorwiegend kleine Arterienäste, in der Mitte das Capillarsystem, während die Anfänge der Venen die Magengrübchen umgeben und im Bereich der Leisten dicht an das Oberflächenepithel herangehen. Vielfach sitzt das Epithel der Magenschleimhaut direkt der Wand einer feinen Vene auf. Die Lymphbahnen der Magenschleimhaut dagegen, weniger zahlreich als die Venen, bleiben weiter vom Oberflächenepithel entfernt. Die innerste Lage der Magenschleimhaut, die das Lumen unmittelbar begrenzt, wird von dem Epithel gebildet; dieses überzieht die Leisten, kleidet die Grübchen aus und steht an deren Grunde im Zusammenhang mit dem Epithel der Magendrüsen. Das Epithel wird durch eine einzige Lage hoher prismatischer Zellen gebildet, deren jede einen elliptischen Kern besitzt. Der Kern, vom Protoplasma umgeben, nimmt den basalen Abschnitt der Zelle ein, der von der Lichtung des Magens entfernt ist; der obere, dieser Lichtung zugekehrte Abschnitt jeder Zelle ist mit Schleim gefüllt; man kann sagen, das Protoplasma ist hier in Schleim umgewandelt. Die Höhe des in Schleim umgewandelten Zellabschnittes ist etwas wechselnd, aber immer beträchtlich; sie beträgt etwa die Hälfte der Gesammthöhe einer Zelle, oft aber noch mehr.

Die in Schleim umgewandelten Bezirke der Epithelzellen bilden, unmittelbar nebeneinanderliegend, eine ununterbrochene, dicke Schleimschicht. Diese begrenzt die Lichtung des Magens, überzieht die Leisten und kleidet die Magengrübchen aus; sie schützt das Zellprotoplasma und die unter dem Epithel befind-

lichen Gewebe vor dem Eindringen von Schädlingen, und hält besonders Bakterien zurück. So lange diese Schleimlage vorhanden ist, namentlich so lange sie keine Unterbrechung aufweist, stellt sie einen Schutzwall dar, der die bakterielle Infektion des Organismus vom Magen her verhindert.

Besteht aber diese Schutzeinrichtung für die Magenschleimhaut schon zur Zeit der Geburt? Und ist sie, wenn sie vorhanden ist, schon in der Vollständigkeit entwickelt, in der sie später angetroffen wird? Wir sind berechtigt, diese Frage aufzuwerfen, weil Beobachtungen vorliegen, aus denen eine grössere Durchlässigkeit der Magenschleimhaut beim Neugebornen hervorgeht; so werden z. B. Antitoxine verschiedener Art, die der Milch beigemischt sind, von neugebornen Tieren vom Magen aus resorbirt, nach einigen Wochen aber nicht mehr durchgelassen. Ein gleiches ergab sich für bestimmte Bakterien; Fütterung älterer Meerschweinchen mit sporenfreien Milzbrandbacillen bewirkt keinerlei Schädigung der Versuchstiere; es erfolgt keine Infection des Organismus, wenn die Schleimhaut des Verdauungstractus unverletzt ist. „Werden dagegen ganz junge Meerschweine auf eben dieselbe Art mit Milzbrandbacillen gefüttert, dann gehen die Bacillen in die Blutbahn über, und wenn man zur Fütterung virulentes Material verwendet hat, dann sterben sie ebenso an Milzbrand wie nach einer subcutanen Infection.“ (v. Behring, Beiträge zur experimentellen Therapie, Heft 8. S. 39).

Der gesteigerten Durchlässigkeit der Magenschleimhaut bei Neugebornen entspricht ein besonderes Verhalten in anatomischer Hinsicht. Die Schleimlage, die im späteren Leben dick und überall gleichmässig gut entwickelt gefunden wird, ist zur Zeit der Geburt noch ungleichmässig ausgebildet. Sie fehlt in einzelnen Abschnitten der Schleimhaut, während sie in andern zwar vorhanden ist, aber aus dünnen, noch von einander getrennten Portionen besteht. Neben den Regionen mit unvollständig ausgebildeter Schleimlage findet man aber gewöhnlich ausgedehnte Schleimhautpartieen im Magen des Neugebornen mit gut ent-

wickelter Schleimschicht versehen, die sich ähnlich verhält wie im Magen des Erwachsenen. Der Schleim fehlt also beim Neugebornen nicht im Epithel des Magens; aber er ist nicht überall vorhanden, und da, wo er vorkommt, ist er von wechselnder Mächtigkeit. Gegenüber dem Verhalten beim Erwachsenen ist die Schleimlage beim Neugebornen unterbrochen; sie ist ferner von ungleichmässiger Ausbildung.

Bei einzelnen Neugebornen liessen sich in der Magenschleimhaut schleimarme und ganz schleimfreie Bezirke nachweisen.

A. Schleimarme Partieen. Die Epithelzellen enthalten Schleim, sowohl auf den Leisten wie innerhalb der Magengrübchen; das Quantum von Schleim aber, das in der einzelnen Zelle liegt ist sehr gering.

Wir finden in den Epithelzellen auf den Leisten der Schleimhaut, sowie in denjenigen, die die Magengrübchen auskleiden, je einen Schleimpfropf, der die Form einer Kugel oder einer biconvexen Linse hat. Der Schleimpfropf liegt am freien Ende der Epithelzelle zunächst der Lichtung des Magens, er schliesst das Protoplasma der Zelle gegen den Inhalt des Magens ab. Die einzelnen Schleimpfröpfe selbst sind, in der Zellenachse gemessen, dünn; ihr Durchmesser schwankt zwischen $^1/_{10}$ und $^1/_6$ der Höhe der Zelle. Dabei liegen dünnere und dickere Schleimpfröpfe vielfach unmittelbar nebeneinander, und die Schleimlage erscheint an ihrer dem Zellprotoplasma zugewandten Fläche unregelmässig begrenzt, indem die dickeren Schleimpfröpfe vorspringen. Während auf Durchschnitten die Schleimpfröpfe einander unmittelbar zu berühren scheinen, erweisen Flächenansichten des Epithels, dass dieses nicht der Fall ist. Die Schleimpfröpfe, welche den centralen Abschnitt der freien Fläche der Zellen einnehmen, werden von dem randständigen Protoplasma umfasst, wie von einem feinen Saum umgeben, und durch diese Protoplasmaringe von einander getrennt. Man kann also die einzelnen Schleimpfröpfe, die in einem aus Protoplasma bestehenden Netzwerk liegen, zählen; die Schleimlage darf als „unterbrochen“ bezeichnet

werden, wenn auch die unterbrechenden Protoplasmafäden äusserst dünn sind.

Nun ist es von grosser Wichtigkeit, dass die dünnsten Schleimpfröpfe gerade in denjenigen Zellen angetroffen werden, die die Leisten der Magenschleimhaut überziehen, die also gleichsam in das Lumen des Magens vorspringen, und am ersten mit dem Inhalt in Berührung kommen müssen. Gerade diese Regionen der Schleimhaut sind am wenigsten geschützt, hier ist ein Eindringen schädlicher Faktoren am leichtesten möglich, weil die Ausbildung der Schutzeinrichtungen am spätesten erfolgt.

In den Zellen der Magengrübchen sind die Schleimpfröpfe dicker und gleichmässiger entwickelt; sie nehmen die freien Flächen der Zellen oft schon völlig ein, so dass keine Trennung durch Protoplasmafäden mehr nachzuweisen ist. Es ist also die Schleimlage in den Magengrübchen schon früher gut ausgebildet, als auf den Leisten der Schleimhaut; das hängt möglicherweise damit zusammen, dass das Secret der Magendrüsen sich in die Grübchen ergiesst und zuerst mit deren Epithel in Berührung kommt. Der saure, fermenthaltige Magensaft könnte die Fähigkeit haben, das Protoplasma zur Schleimbildung anzuregen.

B. Schleimfreie Partieen. Neben solchen Gegenden, in denen jede Epithelzelle Schleim enthält, findet man andere, in denen das Epithel auf grössere Strecken frei von Schleim ist. Das aus rein protoplasmatischen Zellen gebildete Epithel findet sich auf den Leisten vor, geht aber in die Tiefe der Magengrübchen nicht hinein. Zwischen den schleimfreien Zellen treffen wir hin und wieder schleimhaltige Zellen an, die einzeln, oder auch in Gruppen beisammen stehen. Diese schleimhaltigen Zellen besitzen meistens einen beträchtlichen Schleimgehalt; das Protoplasma, den Kern umgebend, beschränkt sich auf den angewachsenen Abschnitt der Zelle, so dass der Schleim die Hauptmasse der Zelle ausmacht. Der schleimhaltige Zellabschnitt baucht sich aus und die Zelle nimmt dann die Form einer Becherzelle an, wie man sie im Darmepithel antrifft.

Ganz frei von Schleim sind also die als „schleimfrei“ bezeichneten Regionen nicht; aber es überwiegen in diesen die rein protoplasmatischen Zellen bedeutend, die schleimhaltigen treten ganz zurück. Wir sind vollauf berechtigt auszusprechen, dass den genannten Schleimhautbezirken der Schutz durch eine Schleimlage gänzlich fehlt, dass durch diese Bezirke die Schleimlage unterbrochen wird, und dass hier die Stellen sind, an denen ein Eindringen schädlicher Mikroorganismen möglich ist. Zur Zeit lässt sich noch nicht angeben, ein wie grosser Bruchteil der Magenschleimhaut des Neugebornen frei von Schleim ist. Die Ausdehnung der schleimhaltigen Abschnitte des Oberflächenepithels ist bei jedem Individuum, das bisher darauf untersucht wurde, verschieden; bei dem einen besitzen die schleimhaltigen Partieen eine grosse Ausdehnung, bei dem anderen treten sie mehr zurück. Von vornherein kann man nicht beurteilen, ob im einzelnen Falle die Schleimlage bedeutende Lücken aufweist, oder ob sie auf grosse Strecken hin ununterbrochen ist; es scheint die Ausbildung der Schleimlage von Faktoren abhängig zu sein, die individuell variiren. Dass aber die Schleimlage im Magen des Neugebornen noch Unterbrechungen aufweist, dass sie noch nicht vollständig ist, kann als Regel hingestellt werden. Die Magenschleimhaut besitzt hier noch Stellen, die eines ausreichenden Schutzes gegen das Eindringen von Bakterien entbehren. Je kleiner nun die Unterbrechungen der Schleimlage sind, desto besser ist der Schutz gegen eine bakterielle Infektion vom Magen aus; je grösser die schleimfreien Stellen sind, desto geringer ist die Aussicht, dass Bakterien die einmal in den Magen gelangt sind, am Eindringen in die Schleimhaut gehindert werden. Ein Individuum, in dessen Magen die Schleimdecke zur Zeit der Geburt grosse Lücken aufweist, ist für Infektion besser „prädisponirt“ als ein anderes, bei welchem nur noch wenige Zellgruppen des Schleims entbehren.

Man könnte einwenden, dass die Befunde an der Magenschleimhaut so wenig lebenskräftiger Individuen, wie es Kinder sind, die bald nach der Geburt sterben, keinen Rückschluss auf

das Verhalten des Magens gesunder und lebensfähiger Neugeborner gestatten. Es könnte die mangelhafte Ausbildung der Schleimlage kein physiologischer, sondern ein pathologischer Zustand sein, der sich bei lebenskräftigen Individuen nicht findet. Gegen diese Auffassung sprechen einmal die Befunde an der Magenschleimhaut menschlicher Embryonen, dann aber auch das Verhalten der Schleimlage im Magen neugeborner Säuger. Beim Menschen beginnt die Schleimbildung innerhalb des Oberflächenepithels schon einige Monate vor der Geburt. Der Schleim tritt in zusammenhängender Lage zuerst in den Magengrübchen auf; die Epithelzellen enthalten sämmtlich gut ausgebildete Schleimpfröpfe. Im Epithel der Leisten der Schleimhaut beginnt die Schleimbildung später; bei Embryonen aus dem Anfang des 8. Monats z. B. findet man grosse Strecken des Epithels auf den Leisten rein protoplasmatisch, und nur wenige Zellen besitzen schon einen Schleimpfropf. Die einzeln stehenden, schleimhaltigen Zellen aber können bereits eine beträchtliche Menge Schleim enthalten. Finden wir bei Neugebornen noch schleimfreie Partieen des Oberflächenepithels vor, so dürfen wir sie als Schleimhautbezirke ansehen, die noch auf embryonaler Ausbildungsstufe sich befinden.

Von den Säugern, deren Magen ich bisher untersucht habe, gleicht der des neugeborenen Meerschweinchens am meisten dem des neugeborenen Menschen, was die Ausbildung der Schleimlage anbetrifft.

Unmittelbar nach der Geburt, und im Laufe des ersten Lebenstages besitzt jede Zelle des Oberflächenepithels einen dünnen Schleimpfropf. Dieser wird an seinen Rändern von dem Zellprotoplasma umfasst; er füllt also das freie Ende der Zelle nicht völlig aus. Die nebeneinander gelegenen Schleimpfröpfe berühren einander noch nicht, sie werden durch feine Protoplasmabalken von einander getrennt. Auf Durchschnitten erkennt man dieses Verhalten nicht so gut, als auf feinen Flächenschnitten des Epithels. Im Laufe des zweiten Lebenstages nehmen die einzelnen Schleimpfröpfe an Masse zu; viele

füllen das freie Ende der Zelle, der sie angehören, schon völlig aus, so dass sie die Schleimpfröpfe der nebenstehenden Zellen direkt berühren. Man findet aber auch Gegenden, in welchen die Schleimpfröpfe noch durch feine Protoplasmabalken getrennt werden, wo also die Schleimlage unterbrochen ist. Im Laufe des dritten Tages wird die Schleimlage ununterbrochen und verdickt sich noch, so dass sie am vierten Tage durchweg bis an die Kerne der Epithelzellen reicht.

Schleimfreie Bezirke werden indessen beim neugeborenen Meerschweinchen nicht gefunden. Dass trotzdem Milzbrandbaciilen die Magenschleimhaut passiren, lehrt der oben mitgeteilte Versuch von v. Behring. Wir dürfen wohl annehmen, dass auch diejenigen Abschnitte im menschlichen Magen, deren Zellen bereits dünne Schleimpröpfe enthalten, auch noch für Bakterien durchlässig sind.

Es ist von Wichtigkeit, zu entscheiden, wohin die Bakterien gelangen, die das Epithel des Magens passirt haben. Gerathen sie in das Bindegewebe, und aus diesem in Lymphbahnen, oder dringen sie in Blutgefässe ein? Im ersten Falle würden sie vornehmlich die regionären Lymphdrüsen befallen; die Infection würde nahe der Eintrittspforte localisirt bleiben. Im zweiten Falle würde der Blutstrom die eingedrungenen Bakterien aufnehmen und weiter transportieren; sie würden zunächst mit dem Blut circuliren, und es würde von besonderen Bedingungen abhängig sein, ob sie in irgend einem Organ die Blutbahn verlassen und im Parenchym sich ansiedeln könnten.

Aus Versuchsreihen, über welche v. Behring berichtet hat (Beiträge zur experimentellen Therapie, Heft 8 1904) geht hervor, dass Milzbrandbacillen, die an neugeborene Meerschweinchen verfüttert wurden, in den meisten Fällen nach kurzer Zeit (2 Stunden, 4 Stunden, 20 Stunden nach der Fütterung) im Blute nachgewiesen werden konnten. Einmal wurden auch in einem Lymphknötchen in der radix mesenterii die Milzbrandbacillen angetroffen. Häufiger scheint es demnach zu sein, dass die Bakterien in das Blut gelangen. Dafür kann nun die

Lage der Venenanfänge in der Magenwand die Erklärung liefern. Die Venenanfänge, aus einem Geflecht sehr dünnwandiger Gefässe bestehend, liegen am nächsten der Schleimhautoberfläche; viele Venen liegen beim Neugeborenen unmittelbar unter dem Epithel, so dass die Epithelzellen der Gefässwand direkt aufsitzen. Mikroorganismen, die das Epithel passirt haben liegen an sehr vielen Stellen unmittelbar an relativ weiten, ganz dünnwandigen Venen; sie können hier leicht eindringen, gerade so leicht wie in die Lymphgefässe.

Der Blutstrom muss die eingedrungenen Bakterien durch die Leber hindurch, in den rechten Ventrikel führen; nach dem sie die Lungen passiert haben, können sie durch das arterielle Blut in beliebige Organe verschleppt werden, und sich weiter entwickeln, wo sie günstige Bedingungen vorfinden.

Unter diesen Umständen wird es verständlich, dass das Eindringen von Tuberkelbacillen vom Magen aus durchaus nicht zu einer krankhaften Veränderung an der Eintrittspforte zu führen braucht. Die Bacillen bleiben nicht liegen, sie gelangen in das circulirende Blut, und werden in der Regel die Erkrankung von Organen bewirken, die weit von ihrer Eintrittsstelle abliegen. Locale Symptome an der Eintrittspforte machen Tuberkelbacillen nur dann, wenn sie dort liegen bleiben.

Sitzungsberichte

der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Nr. 2 und 3 **Februar** **1906**

In der ordentlichen Sitzung vom 14. Februar 1906 sprach Herr E. R. Neumann:

Über den Einfluss von Wärmeleitung und Reibung auf die Strömungen von Gasen.

Bei theoretischen Untersuchungen über die Strömung von Gasen ist man bisher, von wenigen Ausnahmen abgesehen, stets ausgegangen von einer der beiden folgenden Annahmen: Entweder man nahm an, der ganze Vorgang spiele sich bei constanter Temperatur (isotherm) ab, oder aber ohne Wärmeaustausch zwischen den einzelnen Gasteilchen (adiabatisch). Im ersteren Falle setzt man nach den Boyle-Mariotte'schen Gesetze zwischen der Dichtigkeit ε und dem Drucke p Proportionalität voraus:

I $$\varepsilon = \text{const} \cdot p,$$

im zweiten Falle tritt an die Stelle dieser Beziehung die andere

II $$\varepsilon = \text{const}\ p^{\frac{1}{\varkappa}}$$

wo $\varkappa = \frac{c_p}{c_v}$ das Verhältnis der beiden specifischen Wärmen des betreffenden Gases bedeutet. — Diese beiden Annahmen sind aber nur extreme Fälle, die auf sie gegründeten Theorieen stellen

daher die Vorgänge in der Natur nur nährungsweise dar, denn die Wärmeleitung wird — abgesehen von dem Grenzfalle einer unendlich langsamen Bewegung — keine Zeit haben, die durch Compressionen und Dilationen entstehenden Temperaturunterschiede vollständig auszugleichen — wie dies die der Annahme I zu Grunde liegende Vorstellung ist — ebensowenig werden diese Temperaturunterschiede aber auch, wie dies bei der Annahme II vorausgesetzt wird, gänzlich unausgeglichen bleiben — abgesehen von dem Grenzfalle der unendlich raschen Strömung. Ausser in diesen beiden Grenzfällen werden wir uns die Sachlage so vorstellen müssen, dass die Wärmeleitung im Gase zwar einen gewissen, wenn auch nur unvollständigen Temperaturausgleich bewirkt; es wird also während der Strömung eine mit durch die Wärmeleitung beeinflusste Temperaturverteilung im Gase entstehen, die dann ihrerseits natürlich auch auf die Strömung zurückwirkt, und es ergiebt sich aus dieser Überlegung die bei Zugrundelegung der Annahmen I und II nicht erfüllte Forderung, bei einer Theorie der Strömung von Gasen zugleich Rücksicht auf die Wärmeleitung zu nehmen. Es dürften bei einer solchen die Zustandsänderungen des Gases nicht derartig speciellen Beschränkungen wie in I oder II unterworfen werden, sondern sie brauchten nur der allgemeinen Zustandsgleichung des Gases zu gehorchen. Als solche legen wir das durch Gay Lussae erweiterte Boyle-Mariotte'sche Gesetz zu Grunde, nach welchem der Druck p, die Dichtigkeit ε und die absolute Temperatur jederzeit in der folgenden Beziehung stehen:

III $\quad p = R \cdot \varepsilon \cdot \vartheta \quad$ (wo R die „Gasconstante")

Eine grössere Anzahl von teilweise auch für die Praxis sehr wichtigen Problemen fordert gebieterisch eine solche die Wärmeleitung mit berücksichtigende Theorie der Strömung von Gasen. Nur zwei Probleme seien hier erwähnt: Der Wärmeverlust, den jeder erwärmte frei aufgestellte Körper durch Leitung und Strahlung an die umgebende Luft erleidet, wird erfahrungsgemäss durch einen vorbeigeführten Luftstrom, z. B. den Wind,

erheblich gesteigert. Wegen der grossen Bedeutung der Frage für die Technik sind mehrfach ganz unabhängig von einander Beobachtungen darüber angestellt, wie dieser gesteigerte Wärmeverlust Q von der Windgeschwindigkeit $\mathfrak{B}$ abhängt, und stets liessen sich die Resultate dieser Versuche recht gut wiedergeben durch die empirische Formel

$$Q = a + b\sqrt{\mathfrak{B}},$$

wo a und b Constanten bedeuten. Eine Beantwortung der Frage, ob diese Formel den wahren zwischen Wärmeabgabe und Windgeschwindigkeit bestehenden Zusammenhang richtig oder nur approximativ wiedergiebt, kann naturgemäss nur eine die Wärmeleitung und die Strömung der Luft gleichzeitig berücksichtigende Theorie geben — und ebenso steht es mit dem zweiten hier noch zu erwähnenden Probleme, bei welchem es sich im Gegensatz zum ersteren vor Allem um das verschiedene Verhalten verschiedener Gase handelt. Auf dieses zweite Problem führt eine häufig zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Gasen benutzte Versuchsanordnung, bei welcher man die Wärmemenge beobachtet, welche ein in dem betreffenden Gase hängender, erwärmter Körper durch die Leitung der trennenden Gasschicht an die Gefässwand verliert. In Wahrheit wird der Wärmeverlust des inneren Körpers aber nicht allein durch die Leitung im Gase verursacht, sondern infolge der im Gase entstehenden Strömungen wird ein Teil der Wärme rein mechanisch, durch Convektion, fortgeführt. Über die Grösse dieser Wärmeconvektion und den durch sie bedingten Fehler in der Berechnung der Wärmeleitfähigkeit kann wieder nur eine Theorie Aufschluss geben, welche in gleicher Weise die Wärmeleitung wie die Gasströmung umfasst.

Was nun eine solche Theorie anlangt, so sind zwar von mehreren Autoren die ihr zu Grunde zu legenden Diffentialgleichungen aufgestellt, man findet sie z. B. auch in Kirchhoffs Vorlesungen über Wärmetheorie S. 114—121 — von Arbeiten, die darüber hinausgehen, sind mir aber nur zwei bekannt, von

A. Overbeck (1879) und L. Lorenz (1881), beide in Wiedemann's Annalen, Bd. 7 S. 271 und Bd. 13 S. 582. In diesen beiden Arbeiten sind jedoch nur recht specielle Probleme in Angriff genommen, auch scheinen mir die Prämissen nicht ganz allgemein genug.

Im Folgenden will ich nun einen Ansatz kurz scizzieren, der geeignet sein dürfte das Eindringen in diese mathematisch sehr schwierige Theorie der Gasströmung unter Berücksichtigung der Wärmeleitung erheblich zu erleichtern, und ich will dann weiter über ein sich so ergebendes Resultat berichten, das die Lösung wenigstens des zweiten der beiden genannten Probleme in erheblich grössere Nähe gerückt erscheinen lässt.

Zunächst muss ich jedoch das Problem der Strömung von Gasen ganz allgemein formulieren; dabei will ich vorerst die Annahmen I oder II gemacht denken, um so die durch Zugrundelegung der allgemeinen Annahme III entstehenden Schwierigkeiten deutlicher hervortreten zu lassen. — Wie bestimmt man überhaupt in der Hydro- oder Aerodynamik einen Bewegungszustand? Dies geschieht in der Regel dadurch, dass man nach dem Vorgange von Euler für beliebige Stellen x, y, z und beliebige Zeiten t die „Strömungscomponenten“ u, v, w bestimmt, d. h. die Componenten der Geschwindigkeit, welche das gerade zur Zeit t an die Stelle x, y, z befindliche Flüssigkeits- oder Gasteilchen besitzt. Doch von der Bestimmung der Componenten u, v, w ist nicht zu trennen die der Dichtigkeit ε und des Druckes p, sodass es sich also bei einem Probleme der hier betrachteten Art darum handelt, 5 Unbekannte, nämlich u, v, w, ε und p als Funktionen von x, y, z und t zu bestimmen. Dazu sind 5 Gleichungen notwendig und als solche liefert uns die Hydrodynamik die folgenden:

1) die 3 Euler'schen hydrodynamischen Grundgleichungen,

2) die sogenannte Continuitätsgleichung,

d. i. eine Gleichung, die nur das Princip der Erhaltung der Masse bei der Bewegung zum Ausdruck bringt, und endlich

kommt als fünfte Gleichung zu diesen noch die zwischen Dichtigkeit und Druck angenommene Beziehungsgleichung:

I bzw. II $$\varepsilon = \varepsilon(p).$$

Die wirkliche Bestimmung der Unbekannten aus diesen 5 Gleichungen lässt sich nun ganz erheblich vereinfachen, wenn man Gebrauch macht von einem bereits von Lagrange herrührenden Satze, der Folgendes besagt: Solange die Dichtigkeit ε allein vom Drucke p abhängt (wie wir eben in I bzw. II angenommen haben) kann ein Teilchen, das von Hause aus keine rotatorische Bewegung (Wirbelbewegung) besitzt, eine solche auch im weiteren Verlaufe der Strömung nie erlangen. Macht man also die Annahme, der Anfangszustand des Gases sei wirbelfrei, so ist es auch der ganze weitere Bewegungszustand, und dann lassen sich alle die unbekannten Funktionen u, v, w, ε und p in einfacher, ein für alle Male feststehender Weise durch eine einzige Funktion $\varphi\ (x, y, z, t)$, das sogenannte Geschwindigkeitspotential (oder richtiger durch dessen Differentialquotienten) ausdrücken, es ist dann nämlich:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial \varphi}{\partial z},$$

und ähnlich drücken sich dann auch ε und p durch die Ableitungen von φ aus. — Es ist damit dann also die Bestimmung der fünf Unbekannten zurückgeführt auf die einer einzigen Funktion φ, für welche sich eine Differentialgleichung

$$D(\varphi) = 0$$

und die zugehörigen Randbedingungen ergeben — dadurch ist das ganze Problem augenscheinlich sehr erheblich vereinfacht.

Diese Reduktionsmethode ist nun aber nur anwendbar, wenn die Dichtigkeit ε eine blosse Funktion des Druckes p ist, wie es eben bei den Annahmen I und II vorausgesetzt wird, nur dann gilt eben der Lagrange'sche Satz von der Erhaltung der wirbelfreien Bewegung. Sobald wir aber die Annahmen I oder II ersetzen durch die allgemeinere Voraussetzung III, nach welcher die Dichtigkeit ausser von dem Drucke auch noch von

der Temperatur abhängt, gilt der Satz nicht mehr, es wird die ganze Unterscheidung zwischen Wirbelbewegung und wirbelfreier Bewegung hinfällig, von einem Geschwindigkeitspotentiale φ kann daher keine Rede sein; in dieser Weise ist dann also eine Reduktion des Problemes nicht mehr zu erreichen.

Nun giebt es aber, wie ich jetzt ausführen will, noch eine andere Methode, die Bestimmung eines Bewegungszustandes zurückzuführen auf die Ermittelung einer einzigen Funktion, allerdings wieder nur unter gewissen einschränkenden Voraussetzungen, die sich aber jetzt nicht auf die Natur der betreffenden Flüssigkeit (bzw. Gases), auf die Art der möglichen Zustandsänderungen, sondern lediglich auf die Art der Bewegung selber beziehen. Es sind dies nämlich folgende Voraussetzungen:

A. Die Bewegung gehe *zweidimensional* vor sich, die Strömungscomponente nach der einen z. B. der z-Axe (also w) sei dauernd 0, und die übrigen Funktionen u, v etc. seien von z unabhängig.

B. Die Bewegung sei *stationär*, alle jene Funktionen seien also auch von t abhängig.

C. Auf die Flüssigkeits- bzw. Gasteilchen sollen *keine äusseren Kräfte* wie etwa die Schwere oder dergl. wirken.

Unter diesen vereinfachenden Voraussetzungen lauten die Euler'schen Differentialgleichungen (1) und die Continuitätsgleichung (2) folgendermassen:

1′) $$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\varepsilon}\cdot\frac{\partial p}{\partial x}, \qquad u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\varepsilon}\cdot\frac{\partial p}{\partial y}$$

und

2′) $$\frac{\partial(\varepsilon u)}{\partial x} + \frac{\partial(\varepsilon v)}{\partial y} = 0.$$

Um dann die Bestimmung der Grössen u, v, ε und p aus diesen Gleichungen (und gewissen weiteren Zusatzbedingungen) zu erleichtern, kann man nun folgendermassen verfahren: Man fügt zu den mit ε multiplicierten Gleichungen (1′) die mit u bzw. v multiplicierte Gleichung (2′), und erhält so

$$\frac{\partial(\varepsilon u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\varepsilon u v)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x}, \quad \frac{\partial(\varepsilon u v)}{\partial x} + \frac{\partial(\varepsilon v^2)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y},$$

oder, wenn wir zur Abkürzung

3) $$\sqrt{\varepsilon} \cdot u = U \quad \text{und} \quad \sqrt{\varepsilon} \cdot v = V$$

setzen, können wir hierfür auch schreiben:

4) $$\frac{\partial(U \cdot V)}{\partial y} = -\frac{\partial(U^2 + p)}{\partial x} \text{ bzw. } \frac{\partial(U \cdot V)}{\partial x} = -\frac{\partial(V^2 + p)}{\partial y}$$

Die erstere dieser beiden Gleichungen ist nun die bekannte Bedingung dafür, dass $U \cdot V \cdot dx - (U^2 + p) \cdot dy$ ein totales Differential ist, oder dass es eine Funktion $F_1(x, y)$ giebt, derart, dass

5a) $$U \cdot V = \frac{\partial F_1}{\partial x} \quad \text{und} \quad -(U^2 + p) = \frac{\partial F_1}{\partial y}$$

ist, und ebenso folgt aus der zweiten Gleichung (4) die Existenz einer Funktion $F_2(x, y)$ von solcher Beschaffenheit, dass

5b) $$U \cdot V = \frac{\partial F_2}{\partial y} \quad \text{und} \quad -(V^2 + p) = \frac{\partial F_2}{\partial x}.$$

Die beiden ersten Gleichungen (5a) und (5b) lehren aber, dass zwischen diesen beiden Funktionen F_1 und F_2 die Beziehung besteht:

$$\frac{\partial F_1}{\partial x} = \frac{\partial F_2}{\partial y},$$

d. h., dass auch sie sich darstellen lassen als Differentialquotienten einer einzigen Funktion — sie heisse jetzt $2\,\Phi(x, y)$ — sodass also:

$$F_1 = \frac{\partial(2\,\Phi)}{\partial y} \quad \text{und} \quad F_2 = \frac{\partial(2\,\Phi)}{\partial x}.$$

Unter Benutzung dieser Darstellungen lassen sich dann die 4 Gleichungen (5a) und (5b) in folgende 3 zusammenziehen:

$$U \cdot V = 2\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}, \quad U^2 + p = -2\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}, \quad V^2 + p = -2\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}.$$

Aus diesen Gleichungen lassen sich aber p, U und V berechnen, d. h. ausdrücken durch die Diffentialquotienten der einen Funktion Φ. Das Resultat will ich kurz so andeuten:

6) $$p = \{\Phi\}, \quad \sqrt{\varepsilon} \cdot u \equiv U = \{\Phi\}, \quad \sqrt{\varepsilon} \cdot v \equiv V = \{\Phi\}.$$

Damit sind dann also der Druck p und wenigstens die mit den Strömungscomponenten u und v enge zusammenhängenden Grössen U und V ausgedrückt durch die Differentialquotienten einer einzigen Funktion Φ. Diese Funktion — ich will sie die „Strömungsfunktion“ nennen — spielt also, wenn wir die Voraussetzungen $A — C$ über die Bewegung machen, eine ganz ähnliche Rolle wie bei der Voraussetzung eines wirbelfreien Anfangszustandes das Geschwindigkeitspotential φ.

Welchen Nutzen man aus der Einführung dieser Funktion Φ im Falle incompressibler Flüssigkeiten oder bei isothermen oder adiabatischen Gasströmungen (Annahme I oder II) ziehen kann, das habe ich in einem demnächst im Journal für Mathematik erscheinenden Aufsatze näher ausgeführt. — Da man aber, wie aus Obigem hervorgeht, zur Einführung dieser Funktion Φ nicht der mindesten Voraussetzung über die möglichen Zustandsänderungen des Gases bedarf, so ist dieser Ansatz im Gegensatz zu dem mit dem Geschwindigkeitspotentiale auch noch anwendbar, wenn man die Annahmen I oder II ersetzt durch die allgemeinere Annahme III. Auf meine Veranlassung hat ein früherer Zuhörer von mir, Herr Oettinger, es unternommen, diesen Ansatz mit der Strömungsfunktion zum Studium solcher allgemeinerer Gasströmungen zu verwerten. Hierüber, wie über einige dabei erzielte Resultate möchte ich noch kurz berichten.

Zunächst ist zu bemerken, dass mit der Relation III noch eine neue unbekannte Funktion, die Temperatur ϑ in die Gleichungen des Problemes eingeht, es bedarf daher sicher auch noch einer weiteren Bestimmungsgleichung, und diese liefert uns die Theorie der Wärmeleitung. Bezeichnen wir mit k die Wärmeleitfähigkeit des Gases, so ergiebt sich nämlich die Relation:

7) $$k \cdot \Delta \vartheta = \frac{c_v}{R} \frac{dp}{dt} - c_p \vartheta \frac{d\varepsilon}{dt}$$

eine Gleichung, welche nichts anderes besagt, als dass die einem kleinen bewegten Massenteilchen durch Leitung zugeführte Wärmemenge gleich sein muss der aus Masse, Temperaturänderung und specifischer Wärme berechneten. Dabei hat man sich dann jedoch in bekannter Weise die gesamte Temperaturänderung in zwei einzelne zerlegt zu denken, deren eine bei constantem Volumen, die andere bei constantem Druck erfolgt, und demnach hat man bei Berechnung der entsprechenden Wärmemengen einmal die specifische Wärme c_v, das andere Mal c_p zu benutzen. —

Wollen wir also bei Bestimmung des Strömungszustandes den Einfluss der Wärmeleitung berücksichtigen, so handelt es sich im allgemeinen Falle um das folgende mathematische Problem: die 6 Unbekannten u, v, w, p, ε und ϑ aus den im Ganzen 6 Gleichungen (1), (2), III und (7) als Funktionen von x, y, z und t zu ermitteln, und unter den einschränkenden Voraussetzungen $A - C$ reduciert sich dieses Problem auf das folgende einfachere: Die 5 Unbekannten u, v, p, ε und ϑ (w ist nämlich $= 0$) aus den 5 Gleichungen (1′), (2′), III und (7) zu bestimmen, für welch letztere Gleichung wir unter Rücksicht auf die bekannte Bedeutung der „totalen“ Differentialquotienten $\frac{dp}{dt}$ und $\frac{d\varepsilon}{dt}$ jetzt besser schreiben werden:

7′) $$k \cdot \Delta \vartheta = \frac{c_v}{R}\left(u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y}\right) - c_p \vartheta \left(u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y}\right)$$

Führen wir nun die Strömungsfunktion Φ ein, drücken durch sie in der in (6) angedeuteten Weise p, U und V aus, so sind die Gleichungen (1′) identisch befriedigt, sobald es die Gleichung (2′) ist; es bleiben demnach nur die Gleichungen (2′), III und (7′) übrig, die wir mit Rücksicht auf (3) jetzt besser so schreiben werden:

2″) $$\frac{\partial(\sqrt{\varepsilon} \cdot U)}{\partial x} + \frac{\partial(\sqrt{\varepsilon} \cdot V)}{\partial y} = 0, \qquad \text{III.} \quad p = R \cdot \varepsilon \cdot \vartheta$$

7′) $$k \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \Delta \vartheta = \frac{c_v}{R}\left(U \frac{\partial p}{\partial x} + V \frac{\partial p}{\partial y}\right) - c_p \vartheta \left(U \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \varepsilon}{\partial y}\right)$$

Denken wir hier überall für p, U und V ihre Ausdrücke (6) in Φ eingesetzt, so sind dies jetzt 3 Gleichungen für die 3 Funktionen ε, ϑ und Φ. — Es gelingt aus diesen Gleichungen heraus ε und ϑ *explicite* darzustellen als abhängig von den Differentialquotienten von Φ:

$$8) \qquad \varepsilon = \{\Phi\} \quad \text{und} \quad \vartheta = \{\Phi\},$$

ähnlich wie uns das schon oben mit p, U und V gelungen war [vgl. (6)]. — Für die Funktion Φ ergiebt sich dann schliesslich eine Differentialgleichung

$$9) \qquad D(\Phi) = 0.$$

Man braucht also nur diese Differentialgleichung unter den nötigen Zusatzbedingungen zu integrieren, und so die Funktion Φ zu bestimmen — dann liefern uns die in (6) und (8) angedeuteten Formeln sofort die sämtlichen Unbekannten, p, ε, ϑ, u und v. — Damit ist also unter den Voraussetzungen $A - C$ auch das Problem, die Strömungen eines Gases unter Berücksichtigung der Wärmeleitung zu bestimmen, zurückgeführt auf die Ermittelung einer einzigen Funktion, der Strömungsfunktion Φ.

Wenn es nun auch kaum möglich sein dürfte, auf diesem Wege einen Strömungszustand wirklich zu bestimmen — ist doch die Differentialgleichung (9), auf deren Integration es vor Allem ankäme, von nicht geringerer als der 7. Ordnung — so kann man doch einige allgemeine Schlüsse aus dieser Theorie ziehen: Es gehen in die ursprünglichen Gleichungen des Problems eine grössere Anzahl dem betrachteten Gase charakteristischer Constanten ein, nämlich die „Gasconstante“ im engeren Sinne, R, ferner die Wärmeleitfähigkeit k und die beiden specifischen Wärmen c_p und c_v, Constanten, welche teils für verschiedene Gase recht verschiedene Werte haben (so ist z. B. c_v bei Wasserstoff rund 56 mal so gross wie bei Brom). Die Durchführung der oben nur angedeuteten Rechnung lehrt nun, dass in die schliessliche Differentialgleichung (9) für Φ von allen diesen Constanten nur die specifischen Wärmen, und auch diese nur

in der Verbindung $\frac{c_p}{c_v} = \varkappa$ eingehn, was wir etwa dadurch zum Ausdruck bringen können, dass wir anstatt (9) schreiben:

9′) $$D(\Phi, \varkappa) = 0.$$

Diese Grösse $\varkappa$ besitzt nun bekanntlich für alle Gase annähernd den gleichen Wert (für einatomige Gase den theoretischen Wert 1,67, für mehratomige ca. 1,4). Jedenfalls können wir in Anbetracht der grossen Verschiedenheiten bei den übrigen Constanten von diesen Unterschieden wol absehen und dann sagen: Unter sonst gleichen Bedingungen ist die Strömungsfunktion Φ für verschiedene Gase dieselbe — und daraus ergiebt sich dann leicht weiter das folgende Resultat: *Unter den Voraussetzungen A — C und sonst gleichen Versuchsbedingungen strömen auch bei Berücksichtigung der Wärmeleitung alle Gase trotz ihrer sonst so verschiedenen Eigenschaften in geometrisch gleichen Bahnen.*

Die Wichtigkeit dieses Resultates dürfte darin liegen, dass danach feststeht, dass man auch beim Arbeiten mit verschiedenen Gasen sich stets durchaus leicht vergleichbare Bewegungszustände herzustellen im Stande ist. —

Erwähnt sei noch, dass sich die obige Schlussweise ganz analog durchführen lässt, wenn man neben der Wärmeleitung auch noch die innere Reibung des Gases berücksichtigt. Es geht dann noch eine weitere Constante η, der Reibungscoefficient, in die Gleichungen des Problemes ein, und in diesem Falle gehen dann ausser R alle jene Constanten auch in die Schlussgleichung (9) für Φ ein, doch nur in den beiden Verbindungen $\frac{c_p}{c_v} = \varkappa$ und $\frac{k}{\eta \cdot c_v} = f$, sodass wir schreiben werden:

9″) $$D(\Phi, \varkappa, f) = 0.$$

Von dieser Grösse f gilt aber das Gleiche wie von $\varkappa$, sie hat nach einem von Maxwell herrührenden Satze einen für alle Gase annähernd gleichen Wert (für einatomige Gase den theoretischen Wert 2,50 und für mehratomige schwankt der Wert

zwischen 1,6 und 2,0). Sehen wir von diesen gegenüber den sonstigen Verschiedenheiten der Gase jedenfalls sehr geringfügigen Unterschieden ab, so erhalten wir folgenden Zusatz: *Jenes Resultat bleibt bestehen, auch noch, wenn wir die innere Reibung der Gase berücksichtigen.*

Nicht berücksichtigt ist hierbei der Einfluss der Wärmestrahlung. Davon abgesehen, können wir aber nach Obigem sagen: Diese Sätze gelten für einatomige Gase in aller Strenge, für mehratomige Gase angenähert. — Nachträglich kann man diese Sätze übrigens von der einschränkenden Voraussetzung *A*, dass die Bewegung nur zweidimensional sein solle, leicht befreien.

In der ordentlichen Sitzung vom 28. Februar 1906 besprach Herr Dr. Narziss Ach:

Experimentell-psychologische Untersuchungen über den Willen.

Dasjenige Gebiet der Psychologie, auf dem sich bis jetzt die experimentelle Untersuchung am erfolgreichsten betätigt hat, ist das Gebiet des Gedächtnisses, der Association und Reproduktion per Vorstellungen. Das Erlernungsverfahren von Ebbinghaus und das Trefferverfahren von G. E. Müller geben uns durch die zur Erlernung notwendige Wiederholungszahl, sowie durch die Zahl der richtigen, der falschen und der Nullfälle mit den zugehörigen Reproduktionszeiten Mittel an die Hand, eine quantitative Bestimmung der Stärke der gestifteten Reproduktionstendenzen durchzuführen und infolge dessen die Stärke derartiger Reproduktionstendenzen unter verschiedenen Bedingungen mit einander zu vergleichen.

Weniger glücklich war man bisher auf dem Gebiete der experimentellen Untersuchung des Willens. Wenn uns auch die Reaktionsversuche Einblicke in die Dauer der unter verschiedenen Aufgabestellungen vor sich gehenden Willens-

handlungen erlauben, die ihrerseits hierbei wieder an der Hand der systematischen experimentellen Selbstbeobachtung analysiert werden können, so fehlt doch die Möglichkeit einer quantitativen Bestimmung der Intensität eines Entschlusses, Vorsatzes u. drgl., beziehsw. der Determination, welche von diesen Zuständen ausgeht. Ist auf Grund einer experimentellen Variierung der Bedingungen dieses Postulat erfüllt, so sind wir hierdurch noch in die angenehme Lage versetzt, die qualitative Analyse von Willensakten in der ausgedehntesten Weise durchzuführen, indem wir derartige Zustände isolieren und in verschiedener Intensität der Selbstbeobachtung zugänglich machen können. Die Erreichung dieses Zieles geschieht durch ein combiniertes Verfahren, welches das Trefferverfahren mit Anordnungen von Reaktionsversuchen, welche Verfasser zum Nachweis der Wirksamkeit der determinierenden Tendenzen schon früher benützte, in einfacher Weise vereinigt.

Die Anordnung besteht darin, dass Silbenreihen in einer bestimmten Zahl von Wiederholungen am Kymographion geboten werden. Hierauf werden die ungeraden Silben dieser Reihen im Kartenwechsler vorgeführt. Die Versuchsperson hat dann die Aufgabe, nach dem Lesen der Reizsilbe entweder die erste auftretende Silbe auszusprechen (Reproduktion), oder einen Reim zu bilden (Reimen), oder den 1. und 3. Buchstaben der Reizsilbe umzustellen (Umstellen). Die Silben der am Kymographion gebotenen Silben zeigen entweder keinen Zusammenhang, oder sie sind gereimt, wobei jede gerade Silbe einen Reim der vorhergehenden ungeraden Silbe bildet, oder die geraden Silben bilden Umstellungen der ungeraden Silben (Anfangs- und Endkonsonant sind vertauscht). Die einzelnen Reihen wurden am gleichen Tage in Verteilungen 20 mal geboten, so dass für die drei Reihen insgesamt 60 Lesungen stattfanden. Die Aufgabestellungen bei den hierauf im Kartenwechsler exponierten Silben wechselten täglich. Doch kann auf die genauere Anordnung, welche vor allem die Ausschaltung des Einflusses von Zeit- und Raumlage bewirkte, nicht eingegangen werden.

Bei den einander folgenden Tagen einer Versuchsreihe wurden an jedem Tage entweder stets wieder die gleichen Silben geboten, welche dann täglich nur 10 mal gelesen wurden, oder es erschienen wieder andere, in gleicher Weise gebaute Silben in 20 Wiederholungen.

Aus den Tabellen, welche die Zeitwerte für die Lösung der verschiedenen Aufgaben (Reproduktion, Reimen, Umstellen) aufweisen, ergiebt sich, dass infolge der reproduktiv-determinierenden Hemmung stets dann längere Zeiten erhalten wurden, wenn eine der associativen Einübung heterogene Aufgabe vorlag, wenn also z. B. eine Reizsilbe, der eine umgestellte Silbe associiert war, erschien und die Aufgabe bestand, einen Reim zu bilden. Bestand eine gleichartige Aufgabe, so trat entweder eine Verkürzung oder bei einzelnen Versuchspersonen ebenfalls eine Verlängerung der Reaktionsdauer gegenüber den einfachen Reproduktionszeiten ein.

Als quantitatives Resultat ergab sich ausserdem, dass im allgemeinen eine sehr grosse Zahl von Wiederholungen d. h. eine recht erhebliche Stärke der Reproduktionstendenz notwendig ist, um sie der Intensität der von einem Willensentschluss ausgehenden Determination gleich zu machen. So betrug das associative Aequivalent der von dem Entschluss zu Reimen ausgehenden determinirenden Tendenz ungefähr 90 Wiederholungen, die sich über 8 Tage verteilten. Hier bestimmte dann nicht der von der Determination aus gehende Einfluss den Ablauf des Geschehens, sondern die durch vielfache Einübung sehr gefestigte Association, so dass eine falsche Reaktion erfolgte. War die Energie des Entschlusses an sich gering, dann konnte auch eine relativ geringe Stärke der Reproduktionstendenz (W = 20) genügen, um trotz gegenstehender Determination die Überwertigkeit der associierten Vorstellung zu bewirken.

Da zwei verschiedene Individuen hinsichtlich der Stärke von gestifteten Reproduktionstendenzen verglichen werden können, so sind wir an der Hand des beschriebenen combinierten Ver-

fahrens in der Lage, auch die Stärke der determinirenden Tendenzen verschiedener Individuen vergleichen zu können.

Hat nicht der Entschluss, sondern die associative Einübung den Ablauf des Geschehens bestimmt (Fehlreaktion), so setzt der darauf folgende Entschluss nicht selten mit grosser Energie ein, und hier lässt sich dann die Qualität dieses Aktes nach der phaenomenologischen Seite als isoliert gegebene Erscheinung der Analyse zugänglich machen. Neben sehr intensiven sinnlichen Begleiterscheinungen höchster Anspannung (Spannungsempfindungen im Oberkörper, Vorneigen desselben, intensiven Spannungsempfindungen in Kinngegend, Aufeinanderbeissen der Zähne, Zusammenpressen der Lippen und Zusammenziehen der Augenbrauen etc.) besteht hier in der Regel die Bewusstheit „ich kann und ich will.“ Ausserdem ist als gegenständlicher Inhalt die Zielvorstellung mit der Bezugsvorstellung und ihrer Beziehung zur Zukunft gegenwärtig und zwar entweder neben den Spannungsempfindungen nur als Wissen oder auch durch innerliches Sprechen u. drgl. phänomenologisch repräsentiert. Dieser Akt des Entschlusses ist für das Individuum unmittelbar als besonderes Erlebnis von anderen psychischen Phaenomenen wohl charakterisiert. In der Bewusstheit „ich kann“ kommt die Unabhängigkeit des Ich zum Ausdruck. Diese Bewusstheit ist durch Abstraktion aus den gesamten früheren Erfahrungen gewonnen und determiniert hier den Ablauf des Geschehens. Die Aktivität tritt sehr stark in dem von der Bewusstheit „ich will“ begleiteten Akte hervor. Dieser Akt kann auch spontan ohne vorherige Bewusstheit „ich kann“ gegeben sein. Aber in der Regel ist auch hier dann in diesem Akte implicite die erwähnte Bewusstheit enthalten, ohne allerdings speciell hervorzutreten.

Ist zwischen den umgestellten Silben „dus sud“ durch häufige Wiederholung eine intensive Association gestiftet und es besteht die energische Absicht zu reimen, so tritt nach dem Erscheinen von „dus,“ dessen Auffassung mit der Bewusstheit der Bekanntheit verbunden ist, in der Regel „sud“ als akustisch-kinästhetisches Vorstellungsbild auf. Dieses Vorstellungsbild ist

gleichzeitig mit der Bewusstheit der Falschheit, Unrichtigkeit verbunden. Hierauf erfolgt noch einmal der Entschluss „ich will einen Reim bilden," der mit den sinnlichen Begleiterscheinungen entweder als Bewusstheit gegeben ist oder auch durch inneres Sprechen repräsentiert sein kann. Auch die Bewusstheit „es soll ein Reim gebildet werden" kann hier mit der Bewusstheit des Einverständnisses an die Stelle des nochmaligen Entschlusses treten.

Erfolgt bei nicht hinreichend intensivem Entschluss oder bei zu starker associativer Einübung in dem erwähnten Beispiele das Aussprechen von „sud," so ist diese falsche Reaktion in der Regel von einem Affekt des Ärgers verbunden mit Unlust begleitet. Und jetzt tritt beim nächsten Versuch sehr lebhaft die Bewusstheit „ich kann" auf und mit oder nach ihr ein sehr energischer Entschluss „ich will," sodass diesmal die determinirende Tendenz siegreich wird.

Die Überschätzung der Bewusstheit „ich kann" ist deshalb für den Ablauf des Geschehens ohne Nachteil. Im Gegenteil, sie bewirkt im Falle des Misserfolges einen Affekt und hierdurch findet gewissermassen eine Anschoppung von psychophysischer Energie statt, welche ihrerseits wieder das energische Eingreifen des Individuums ermöglicht. Der Entschluss hat dabei aber nicht den Zweck, das bestehende Unlustgefühl zu beseitigen, Affekt und Unlust bilden nur eine Begleiterscheinung des Ablaufes. Auch sonst zeigen die vorliegenden Versuche keine Bestätigung jener Willenstheorien, welche annehmen, dass das Motiv der Willenshandlung stets die Erreichung von Lust oder die Beseitigung von Unlust ist.

Zuweilen ist auch die Qualität des bei den Fehlreaktionen gesetzten Affektes eine andere. Bei sanguinisch veranlagten Individuen stellte sich z. B. ein Zustand der Selbstironie ein mit der Bedeutung ähnlich wie „ach dies ist aber komisch." So giebt uns das combinierte Verfahren auch Mittel an die Hand zu einer experimentellen Untersuchung der Temperamente.

Aufgelegte Schriften:

Batavia Magnetical and meteorological Observatory. Observations. 26. Bd. Batavia 1905.

Berlin Dtsch.-öst. Orientclub Der Orient. V. Jahrg. Berlin 1903.

Buenos-Aires Academia nacional en Cordoba. Boletin XVIII. Jahrg. Buenos-Aires 1905.

Chapel Hill El. Mitchell scientific Society. Journal XXI. No. 3.

Boston. The american naturalist. 39. Bd. No. 468. Boston 1905.

Chur Naturf. Gesellschaft Graubündens. Jahresbericht. N. F. 47. Bd. 1905.

Dresden Gesellsch. f. Natur- und Heilkunde 1886/1900. Dresden 1887/1900.

Dresden Gesellsch. f. Natur- und Heilkunde 1900/1904. München 1901/1905.

Haarlem Musée Teyller Archives. II. Ser. IX. Bd. 4. Th. Haarlem 1905.

Halle a. S. Leopoldina. Heft 41. Nr. 11. 12. November 1905.

Leipzig Naturf. Ges. Sitzungsberichte. 30./31. Jahrg. (1903/4). Leipzig 1905.

Lima Cuerpo de Ingenieros de Minas. Boletin No. 26. Lima 1905.

Mexico Instituto geologico. Boletin No. 20. 4. Jahrg. Mexico 1905.

Milwaukee Public Museum. 23. Jahrg. Annual Report. Milwaukee 1905.

Milwaukee Wisconsin natural hist. society. Bulletin. III. Bd. No. 4.

New-York Public library. Bulletin. IX. Bd. No. 11 u. 12.

Roma Accademia dei Lincei. Atti. V. Ser. 14. Bd. 10., 11. und 12. Heft. Roma 1905.

Washington U. St. geolog. Survey. Bulletin No. 262. Washington 1905.

Zeitschrift f. Naturwiss. 77. Bd. Heft 6. Stuttgart 1905.

Pisa. Atti soc. tosc. d. sc. nat. Proc. verb. Bd. 14. No. 9—10. Bd. 15. No. 1.

Manchester. Memoirs and proceedings. Manch. lit. and phil. Society 1905/06. Bd. 50. Part. I.

Entomologisk tidskrift. Arg. 26. 1905. Häft 1—3 u. 4.

Berliner mediz. Gesellschaft. Verhandlungen 1905. Berlin 1906.

Boston. The American Naturalist. 40. Bd. No. 469. Boston, Jan. 1906.

Chapel Hill. Elisha Mitchell scientific Society Journal. XXI. Bd. No. . Ch. H. Deiler 1905.

Finland. Societas pro fauna et flora fennica Meddelanden. 29. Heft. 1902/3. Helsingfors 1904.

Finland. Acta. 25. Heft. 1903 4. Helsingfors 1904.

Heidelberg. Naturh. mediz Verein. Verhandlungen. N. F. VIII. Bd. 2. Heft. Heidelberg 1905.

Halifax. Nova Scotia Institut of Science. The proceedings & transactions. XI. Bd. I. Th. Halifax, Maerz 1905.

Halle a./S. Leopoldina. 42. Heft. No. 1. Halle 1906.

Innsbruck. Naturw.-mediz. Verein. Berichte. 29. Jahrg. Innsbruck 1906.

Kiew. Société des naturalistes. Memoires XX. Bd. 1. Lfg. Kiew 1905.

Jefferson-City. Mo. Bureau of geology & mines. Preliminary report of the structural & econ. geology of Missoury. geb. Jefferson-City 1900.

Jefferson-City. Biennial report of the State geologist 42/43. o. J.

Jefferson-City. I/II. vol 2. Ser. Jefferson-City 1903/4.

New-York. University of N.-Y. New-York state museum. 54. annual report. IV. Bd. (45/48). geb. Albany 1902.

Perú. Cuerpo de ingeniores de minas. No. 27/28. Lima 1905.

Rochester. Geological society of America. Bulletin XV. Bd. pag 507—522, pl. 48—51. Novbr. 1904.

St. Louis. Academy of science. Classified list of papers etc. in vol. I—XIV.

St. Louis. Transactions. XIV. No. 7/8. XV. 1/5. St. Louis 1904/5.

Stockholm. Svenska Vetenskaps akademien. Arkiv för Zoologi. II. Bd. 4. Heft. Uppsala 1905.

Washington. Smithsonian institution. Annual report. 30/VI. 1904. geb. Washington 1905.

Washington. U. St. naval observatory. Report. 30/VI. 1905. 1905.

Wien. K. K. Geologische Reichsanstalt. Verhandlungen 1905. No. 13—15.

Galliver. The geographical development of Boston. Chicago o. J.

Sitzungsberichte

der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Nr. 4 **März** **1906**

In der ordentlichen Sitzung vom 14. März 1906 sprach Herr Karl Schaum:

Über Farben an photographischen Schichten.

(Nach Versuchen des Herrn E. Schloemann.)

Bei der Ausdehnung meiner Untersuchungen über die Struktur photographischer Schichten auf Positive schien es mir wichtig, festzustellen, welche Ursachen den oft sehr lebhaften Farben photographischer Bilder zu Grunde liegen. F. Kirchner und R. Zsigmondy[1]) haben bereits für nicht geschichtete Lippmann-Emulsionen bzw. Goldgelatine die Frage im Sinne der Planckschen Resonatorentheorie beantwortet. Es war nun zu untersuchen, wie die Verhältnisse bei andern, zum Teil viel grobkörnigeren photographischen Schichten liegen.

Zunächst lag uns daran, möglichst intensive Farben zu erzielen. F. Kirchner erhielt (im durchfallenden Licht auftretend):

1) F. Kirchner, D. A. 13, 239. 1904. F. Kirchner und R. Zsigmondy, D. A. 15, 573. 1904. Daselbst die weitere Literatur.

Rubinrot-Braunrot mit Pyrogallol + NH_3 + KBr;
Grasgrün-Olivgrün mit Amidol
Grün mit Pyrogallol + $NaOH$
Braunviolett mit Metol
Violett-Blau (schleierig) mit altem Metol (zufällig)
Purpur mit Rodinal + NH_3 + KBr.

Er fand, dass äusserst feines Korn die rote, gröberes die grüne Farbe begünstigt.

Versuche mit Chlorbromsilbergelatine.

Es gelang uns an einer Emulsion mittels einer Entwicklersubstanz mit grosser Sicherheit folgende Farben herzustellen:

Rot	Blau
Gelb	Violett
Grün	Purpur.

Auch stellten wir einige weitere Methoden zur absolut sicheren Erzielung blauer Töne fest.

Die mikroskopische Untersuchung [1]) ergab folgende Resultate, die durch einige Daten über die entsprechenden Grössen an gewöhnlichen Negativen erläutert werden mögen:

	Negativ	Positiv	
Grösse des Silberkorns	2—6,5 μ^2	0,3—1,2 μ^2	
Dicke der Silberkornschicht	0,002—0,02 mm	Rot 0,0025 mm Gelb 0,0015 „ Grün 0,015 „ Blau 0,004 „	
Mittl. Abstand der Silberkörner	Sehr variabel, etwa 0,009—0,02 mm	Rot 0,0012 mm Gelb 0,0009 „ Grün 0,002 „ Blau 0,0008 „	ziemlich variabel

F. Kirchner fand, dass die Farbe der Lippmannschichten durch Aufquellen geändert wird und zwar erhielt er folgende Farbumschläge:

---

1) Mikrophotographische und mikroskopische Hilfsmittel wurden uns in dankenswerter Weise von Herrn Geheimrat Prof. Dr. Gasser und von Herrn Prof. Dr. A. Meyer zur Verfügung gestellt.

Trocken	Nass
Blau	karminrot
(Grün	wenig geändert)
Purpur	schmutziggrün.

Unsere Schichten zeigten die Übergänge:

Rot	⇒	orange-gelb
Gelb	⇒	hellgelb
Grün	⇒	hellgrün
Blau	⇒	rot
Violett	⇒	weinrot
Purpur	⇒	hellrot.

F. Kirchner und R. Zsigmondy fanden, dass die Farbe von Goldgelatine durch Zusatz weiterer Gelatine nicht geändert wird. Ebenso erhielten wir aus unseren roten bzw. blauen Schichten nach Abkratzen, Verdünnen mit Gelatine, Giessen und Trocknen wieder rote bzw. blaue Töne. Wir fanden ferner, dass die Schichten keine Farbänderung erleiden, wenn sie durch Persulfat oder desgl. abgeschwächt, oder durch Silbernitrat-haltigen Entwickler verstärkt werden.

Wir wollen nun die verschiedenen Möglichkeiten der Farbentstehung diskutieren.

1. Körperfarben kommen nicht in Betracht. Eine gefärbte organische Verbindung (Oxydationsprodukt des Entwicklers) kann nicht die Ursache sein, da auch mit Eisenoxalat die Farben entstehen. Die Durchlassfarbe des Silbers kommt auch nicht in Betracht, da sie solcher Nüancierungen nicht fähig ist und vom Quellungszustand unbeeinflusst bleiben würde.

2. Beugungsfarben erscheinen ausgeschlossen, da die Korngrösse ohne Belang ist.

3. Interferenzfarben — durch Bildung stehender Wellen erregt — können, wie schon F. Kirchner hervorhebt, aus zwei Gründen nicht in Betracht kommen: einmal ist die Struktur der Schichten eine völlig ungeordnete, ferner aber müsste, falls Interferenzerscheinungen massgebend wären, bei der Quellung das Absorptionsmaximum grade nach Rot verschoben werden, während das Umgekehrte der Fall ist.

4. Optische Resonanz.[1])

a) Es wäre möglich, dass Silberpartikelchen von der Dimension der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes als Resonatoren wirkten, wie es von Wood, Kossonogoff, Bock u. a. an Metallschichten etc. beobachtet worden ist. Dagegen spricht die Unveränderlichkeit der Farbe beim Verstärken und Abschwächen.

b) Es käme die von F. Kirchner und R. Zsigmondy zur Erklärung der Farberscheinungen an Goldgelatine aufgestellte Theorie in Betracht. Dieses Präparat enthält in farbloser Gelatine-Grundmasse kleine Klümpchen, welche einige hundert bis tausend ultramikroskopische Goldpartikelchen eingelagert tragen. Der Abstand dieser Partikelchen ist massgebend für die Farbe nach einer von Planck entwickelten Theorie. Das Verhalten solcher Systeme beim Quellen und Verdünnen mit Gelatine stimmt gut mit den Forderungen der Planckschen Theorie: das Quellen ändert den Abstand der Goldpartikelchen innerhalb der Gelatine-Gold-Klümpchen, deshalb wird die Farbe variiert. Die Verdünnung mit Gelatine vergrössert nur die Entfernung der Klümpchen, nicht den Partikelabstand. Die Abschwächungs- und Verstärkungsresultate scheinen mir auch mit dieser Auffassung in Übereinstimmung zu stehen: Abschwächung vermindert die Silberpartikel-Zahl innerhalb der Klümpchen, Verstärkung vergrössert die einzelnen Teilchen; der Abstand wird in beiden Fällen nicht geändert. Nun wird nach unseren Versuchen durch Abschwächung bzw. Verstärkung nicht lediglich die Intensität des durchgelassenen Lichtes geändert, sondern auch der Sättigungsgrad; dies rührt m. E. daher, dass eine gewisse minimale Grösse für die Silberpartikel erforderlich ist, um sie zu Resonatoren zu machen; je geringer deren Anzahl nach Abschwächung ist, desto weniger gesättigt erscheint die Farbe; umgekehrt werden durch Verstärken immer mehr Partikel auf die erforderliche Grösse gebracht, und damit

1) Es scheint mir, als ob man in der Literatur die beiden unter a) und b) beschriebenen Arten optischer „Resonanz“ nicht genügend scharf auseinander gehalten hätte.

die Sättigung der Farbe erhöht. Ob nun die verhältnismässig grossen Partikel, die wir bei mikroskopischer Betrachtung an unseren Präparaten sehen, solche Silber-Gelatine-Klümpchen darstellen, oder ob sie nur grobe Silberpartikel repräsentieren, die neben sehr viel kleineren, von uns vielleicht kaum wahrgenommenen derartige Klümpchen auftreten, soll weiter untersucht werden.

Es sei noch bemerkt, dass bei gewissen Schichten, die auf bestimmte Weise entwickelt waren, durch einzelne — aber nicht alle — Abschwächer tatsächlich eine Farbenänderung (Rot ⟹ Blau) herorgerufen wird.

Versuche mit Silbernitrat-Gelatine.

Wir versuchten die nämlichen Erscheinungen auch an Silbernitratgelatine zu realisieren. Unter abgeändertem Entwicklungsverfahren ist uns die Erzielung jener verschiedenen Farbtöne auch gelungen; zu unserer Verwunderung trat jedoch der Farbumschlag beim Quellen nicht ein. Die Verhältnisse müssen also hier anders liegen. Die Platten liessen sich, grade so wie die andern, unter Änderung der Sättigung der Farbe verstärken und abschwächen.

Herr F. Richarz bemerkt mit Rücksicht auf eine vor kurzem von anderer Seite veröffentlichte Arbeit, welche ähnliche Fragen streift, dass Herr K. Schaum ihm schon im Januar d. J. die wesentlichsten Resultate seiner in Gemeinschaft mit Herrn E. Schloemann angestellten Untersuchungen mitgeteilt habe, und dass die Mitteilung in einer früheren Sitzung durch Zufälligkeiten unterblieben ist.

Darauf sprach Herr F. A. Schulze:

Über den Einfluss der Gleitung auf die Schallgeschwindigkeit in Röhren.

H. v. Helmholtz[1]) hat zum ersten Mal darauf aufmerksam gemacht, dass die Schallgeschwindigkeit in Röhren kleiner sein muss als in freier Luft; auch die Grösse dieser Verminderung hat er, unter Berücksichtigung der Reibung als alleiniger Ursache, berechnet. A. Kundt[2]) hat dann einige Jahre darauf mit Hülfe seiner Methode der Staubfiguren experimentell die Verringerung der Schallgeschwindigkeit in Röhren festgestellt und gemessen. Er fand die Verringerung grösser als sie nach der Formel von Helmholtz sein sollte und wies auf den Einfluss des Wärmeaustausches mit der Röhrenwand als weitere Ursache einer Schallgeschwindigkeitsverminderung hin. Eine ausführliche Theorie der Erscheinung unter Berücksichtigung der beiden genannten Umstände, der Reibung und der Wärmeleitung, ist kurz darauf von G. Kirchhoff[3]) gegegeben.

Kirchhoff machte hierbei die Voraussetzungen, dass an der Röhrenwand selbst das Gas die Temperatur der Wand hat, dass ferner das Gas dort keine radial gerichtete Geschwindigkeitskomponente besitzt, drittens, dass auch die Geschwindigkeit der Gasteilchen an der Wand in Richtung der Röhrenaxe Null ist, dass also die Gasmoleküle an der Röhrenwand festhaften, nicht an ihr gleiten.

Alle drei Voraussetzungen sind bei gewöhnlichem Druck als erfüllt zu betrachten. Die beiden ersten werden auch bei geringen Drucken noch erfüllt sein, während die dritte Voraussetzung, dass an der Röhrenwand die Gasteilchen auch keine Bewegung längs der Wand haben, bei geringen Drucken nicht mehr erfüllt ist.

---

1) H. Helmholtz, Verh. des naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg 1863. Bd. III. p. 16. Ges. Abh. Bd. I. p. 383.

2) A. Kundt, Monatsber. d. Berl. Ak. 19. Dez. 1867.

3) G. Kirchhoff, Pogg. Ann. **134**. p. 177. 1868.

Nach den Versuchen von Kundt und Warburg [1]) nämlich über innere Reibung von Gasen, die einige Jahre nach jener Abhandlung von Kirchhoff angestellt sind, haben die Gase bei geringen Drucken eine endliche Gleitung längs der Begrenzungsfläche, die sich bei ihren Versuchen von etwa 20 mm Druck an bemerkbar machte.

Diese Gleitung muss die durch die innere Reibung verursachte Schallgeschwindigkeitsverminderung bei geringem Druck wieder kleiner machen, als es die Kirchhoffsche Formel verlangt. Nach dieser ist die Verringerung der Schallgeschwindigkeit umgekehrt proportional dem Radius der Röhre. Vorhandene Gleitung wirkt im wesentlichen so, als ob bei sonst ungeänderten Verhältnissen der Radius der Röhre grösser würde.

Es schien von Interesse, den Einfluss der Gleitung genau zu berechnen.

Wir halten uns dabei ganz an den Kirchhoffschen Gang der Herleitung.

Kirchhoff machte bei der Schallbewegung in Röhren den Ansatz:

$$u = B \cdot R e^{ht + mx}$$
$$s = B \cdot R' e^{ht + mx}$$
$$\Theta = B \cdot R'' e^{ht + mx}.$$

Dabei bedeutet u die axiale, s die radiale Geschwindigkeitskomponente, Θ die Temperaturdifferenz gegen die konstante Temperatur der Röhrenwand.

B ist eine willkürliche Konstante.

R, R', R'' sind gewisse Funktionen des Abstandes r von der Röhrenaxe, h und m die als komplex anzunehmen sind, sind für Dämpfung, Frequenz und Fortpflanzungsgeschwindigkeit massgebende Grössen. Insbesondere ist $h = 2\pi n i$, wo n die Schwingungszahl ist.

Indem diese Ausdrücke für u, s und Θ in die allgemeinen Grundgleichungen eingeführt werden, ergeben sich folgende Beziehungen:

A. Kundt und E. Warburg, Pogg. Ann. **155**. p. 337 u. 525. 1875.

$$u = AQ - A_1 m \left(\frac{h}{\lambda_1} - \nu\right) Q_1 - A_2 m \left(\frac{h}{\lambda_2} - \nu\right) Q_2$$

$$s = -A \frac{m}{\frac{h}{\mu'}} \frac{dQ}{dr} - A_1 \left(\frac{h}{\lambda_1} - \nu\right) \frac{dQ_1}{dr} - A_2 \left(\frac{h}{\lambda_2} - \nu\right) \frac{dQ_2}{dr}$$

$$\Theta = A_1 Q_1 + A_2 Q_2.$$

Hierin sind A, A_1, A_2 zu bestimmende Konstanten. Für λ_1 und λ_2 gelten die Näherungsformeln $\lambda_1 = \frac{h^2}{a^2}$; $\lambda_2 = \frac{ha^2}{\nu b^2}$, wo a der wahre, b der Newtonsche Wert der Schallgeschwindigkeit in freier Luft ist. Ferner ist:

$$\nu = \frac{\text{Dichte} \times \text{specif. Wärme bei konst. Vol.}}{\text{Wärmeleitung}}; \quad \mu' = \frac{\text{Reibungskonstante}}{\text{Dichte.}}$$

Q, Q_1, Q_2 endlich sind Besselsche Funktionen nullter Ordnung, definirt durch die Gleichungen:

$$\frac{d^2Q}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dQ}{dr} = \left(\frac{h}{\mu'} - m^2\right) Q; \quad \frac{d^2Q_1}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dQ_1}{dr} = (\lambda_1 - m^2) Q_1;$$

$$\frac{d^2Q_2}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dQ_2}{dr} = (\lambda_2 - m^2) Q_2.$$

An dieser Stelle führt Kirchhoff für die weitere Rechnung die drei genannten Voraussetzungen ein, dass u, s und Θ gleichzeitig verschwinden, wenn für r der Radius der Röhre gesetzt wird. Das erfordert, dass für diesen Wert von r die Determinante der Koefficienten von A, A_1, A_2 in den Ausdrücken von u, s Θ verschwindet, d. h.

$$\frac{m^2 h}{\frac{h}{\mu'} - m^2} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) \frac{d \lg Q}{dr} + \left(\frac{h}{\lambda_2} - \nu\right) \frac{dQ_1}{dr} - \left(\frac{h}{\lambda_2} - \nu\right) \frac{d \lg Q_2}{dr} = 0.$$

Dieses ist dann die Bestimmungsgleichung für m^2. Aus m ergiebt sich dann schliesslich durch Trennung des Reellen und Imaginären in einfacher Weise die Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

Wir wollen nun im folgenden, wie schon gesagt, ebenfalls voraussetzen, dass s und Θ an der Röhrenwand verschwinden. Dagegen sollen die Luftteilchen nicht fest an der Röhrenwand

haften, sondern dort an ihr gleiten können. Dabei soll also zwischen der ruhenden Wand und den an ihr gleitenden Gasteilchen eine äussere Reibungskraft wirken vom Betrage λu. Ist η die innere Reibungskonstante, so muss dann in bekannter Weise an der Röhrenwand, $r = R$, die Grenzbedingung gelten

$$\eta \left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)_{r=R} = -\lambda \cdot u_{r=R},$$

oder, wenn der „Gleitungskoefficient“ $\frac{\eta}{\lambda}$ mit g bezeichnet wird

$$g \left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)_{r=R} + u_{r=R} = 0.$$

An der Röhrenwand, für $r = R$, müssen also die 3 Gleichungen gelten:

$$o = A\left(Q + \gamma \frac{\partial Q}{\partial r}\right) - A_1\left(\frac{h}{\lambda_1} - \nu\right) m \left(Q_1 + \gamma \frac{\partial Q_1}{\partial r}\right) - A_2\left(\frac{h}{\lambda_2} - \nu\right) m \left(Q_2 + \gamma \frac{\partial Q_2}{\partial r}\right)$$

$$o = -A \frac{m}{\frac{h}{\mu'} - m^2} \frac{\partial Q}{\partial r} - A_1 \left(\frac{h}{\lambda_1} - \nu\right) \frac{\partial Q_1}{\partial r} - A_2 \left(\frac{h}{\lambda_2} - \nu\right) \frac{\partial Q_2}{\partial r}$$

$$o = A_1 Q_1 + A_2 Q_2.$$

Es muss also die Determinante der Koefficienten von A, A_1, A_2 Null sein.

Dies giebt die Gleichung:

$$\frac{m^2 h}{\frac{h}{\mu'} - m^2} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) \frac{d \lg Q}{dr} + \left(\frac{h}{\lambda_1} - \nu\right) \frac{dlgQ_1}{dr} - \left(\frac{h}{\lambda_2} - \nu\right) \frac{dlgQ_2}{dr}$$

$$+ g \frac{d \lg Q}{dr} \left\{ \left(\frac{h}{\lambda_1} - \nu\right) \frac{dlgQ_1}{dr} - \left(\frac{h}{\lambda_2} - \nu\right) \frac{dlgQ_2}{dr} \right\} \left(1 + \frac{m^2}{\frac{h}{\mu'} - m^2}\right)_{r=R} = 0.$$

Es sei nun hierin zunächst $\frac{m^2}{\frac{h}{\mu'} - m^2}$ gegen 1 vernachlässigt ($\frac{h}{\mu'} - m^2$ ist ausserordentlich gross gegen m^2). Ferner führen

wir dieselben Vernachlässigungen ein, deren sich Kirchhoff bei der weiteren Rechnung bedient hat.[1])

Dies giebt folgende Bestimmungsgleichung für m^2:

$$\sqrt{\mu}\sqrt{h} + \frac{a^2}{h}\frac{r}{2}\left(\frac{h^2}{a^2} - m^2\right) + \sqrt{\nu}\sqrt{h}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right) + g\sqrt{\frac{h}{\mu'}}$$
$$\left\{\frac{a^2}{h}\frac{r}{2}\left(\frac{h^2}{a^2} - m^2\right) + \sqrt{\nu}\sqrt{h}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)\right\} = 0$$

oder

$$m^2\frac{a^2}{h^2}\frac{r}{2}h\left(1 + g\sqrt{\frac{h}{\mu'}}\right) = \sqrt{\mu}\sqrt{h} + \frac{a^2}{h}\frac{r}{2}\frac{h^2}{a^2}\left(1 + g\sqrt{\frac{h}{\mu'}}\right)$$
$$+ \sqrt{\nu}\sqrt{h}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)\left(1 + g\sqrt{\frac{h}{\mu'}}\right) = 0$$

oder $m^2 = \frac{h^2}{a^2}\left[1 + \frac{2}{r\sqrt{h}}\left\{\frac{\sqrt{\mu'}}{1 + g\sqrt{\frac{h}{\mu'}}} + \sqrt{\nu}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)\right\}\right]$.

In der eckigen Klammer $h = 2\pi n i$ gesetzt giebt

$$m = \frac{h}{a}\left[1 + \frac{\sqrt{\mu'}}{r\sqrt{h}}\frac{1}{1 + \frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi}\,(1+i)} + \frac{\sqrt{\nu}}{r\sqrt{h}}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)\right.$$
$$\left. - \frac{\sqrt{n\pi}\,(1+i)}{ar}\frac{\sqrt{\mu'}\,i\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi}}{(1 + \frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi})^2 + g^2\frac{n\pi}{\mu'}}\right]$$

$$= \frac{h}{a}\left[1 + \frac{\sqrt{\mu'}}{r\sqrt{h}}\frac{1 + \frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi}}{(1 + \frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi})^2 + g^2\frac{n\pi}{\mu'}} + \frac{\sqrt{\nu}}{rh}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)\right.$$
$$\left. - \frac{h}{a}i\frac{\sqrt{\mu'}}{r\sqrt{h}}g\frac{\sqrt{n\pi}}{\sqrt{\mu'}}\frac{1}{(1 + \frac{g}{\sqrt{\mu}}\sqrt{n\pi})^2 + g^2\frac{n\pi}{\mu'}}\right]$$

---

1) Ausser den ausdrücklich angegebenen Vernachlässigungen ist noch im ersten Glied nach Erweiterung mit $\mu\,\mu' m^3$ gegen h, $\frac{1}{\lambda_2}$ gegen $\frac{1}{\lambda_1}$, und ferner im zweiten Glied ν gegen $\frac{h}{\lambda_1}$ vernachlässigt.

$$= \frac{h}{a}\left[1 + \frac{\gamma''}{r\sqrt{h}} - i\frac{n\pi g}{ar}\,\frac{1}{(1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi})^2 + g^2\frac{n\pi}{\mu'}}\right.$$

$$\left. + \frac{n\pi g}{ar}\,\frac{1}{(1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi})^2 + g^2\frac{n\pi}{\mu'}}\right]$$

wobei $\gamma'' = \sqrt{\mu'}\,\frac{1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi}}{(1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi})^2 + g^2\frac{n\pi}{\mu'}} + \sqrt{\nu}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)$

$m = m' + im''$. Es ist

$$m' = \frac{\gamma''\sqrt{\pi n}}{ar} + \frac{n\pi g}{ar}\cdot\frac{1}{(1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi})^2 + g^2\frac{n\pi}{\mu'}}$$

$$m'' = \frac{2\pi n}{a} + \frac{\gamma''\sqrt{\pi n}}{ar} - g\frac{\pi n}{ar}\cdot\frac{1}{(1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi})^2 + g^2\frac{n\pi}{\mu'}}$$

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles ergiebt sich also schliesslich als:

$$v = \frac{2\pi n}{m''} = a\left\{1 - \frac{\gamma''}{2r\sqrt{\pi n}} + \frac{g}{2r}\,\frac{1}{(1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi})^2 + g^2\frac{n\pi}{\mu'}}\right\}$$

Erster Spezialfall: $\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi}$ klein gegen 1.

In den weitaus meisten praktisch realisirbaren Fällen ist nun $\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi}$ klein gegen 1.

Es wird dann $v = a\left(1 - \frac{\gamma}{2r\sqrt{n\pi}} + \frac{g}{r}\right)$.

Hierbei ist γ die von Kirchoff so bezeichnete Grösse $\gamma = \sqrt{\mu'} + \sqrt{\nu}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)$. Bei fehlender Gleitung ergiebt sich also, wie es ja sein muss, der Kirchhoff'sche Ausdruck.

Der Einfluss der Gleitung tritt nun einfach additiv dazu. Er ist unabhängig von der Schwingungszahl, und umgekehrt proportional dem Radius der Röhre. Wie vorauszusehen, wirkt die Gleitung der Schallgeschwindigkeits-Verminderung in Röhren entgegen, nähert sie wieder dem normalen Wert a.

Zweiter Spezialfall: $\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{\pi n}$ gross gegen 1.

Es wird $v = a\left\{1 - \frac{\sqrt{\mu'}}{2r\sqrt{n\pi}} \frac{1}{2\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi}} + \frac{g}{4rg^2\frac{n\pi}{\mu'}} - \frac{\sqrt{\nu}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)}{2r\sqrt{n\pi}}\right\}$ oder $v = a\left\{1 - \frac{\sqrt{\nu}}{2r\sqrt{n\pi}}\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)\right\}$.

In diesem Fall ist also die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in Röhren von dem Einfluss der Wärmeleitung abgesehen ebensogross wie in freier Luft. Dieses Ergebnis war vorauszusehen. Denn wenn die Gleitung g sehr gross wird, so bedeutet das, dass die Bewegung der Gasteilchen durch die Anwesenheit der Wand überhaupt nicht beeinflusst wird; sie erfolgt ebenso wie in freier Luft.

Dagegen bleibt natürlich der Einfluss der Wärmeleitung bestehen, da ja die Grenzbedingung $\vartheta = 0$ an der Röhrenwand beibehalten ist.

Uebrigens wird man auch noch den Einfluss des Temperatursprunges an der Wand berücksichtigen müssen, der bereits von Kundt und Warburg vorhergesagt, von Smoluchowski und Gehrcke quantitativ bestimmt ist.

Die Berechnung dieses Einflusses soll in einer späteren Arbeit behandelt werden.

Numerische Berechnung.

Von Interesse ist nun, von welcher Grössenordnung numerisch der Einfluss der Gleitung ist.

Von vornherein sind die Verhältnisse stets so zu wählen, dass die Korrektionsglieder klein sind. Da γ umgekehrt proportional der Wurzel aus der Dichte ist, so wird demgemäss bei kleinen Drucken für n ein grosser Wert anzunehmen sein, damit das Korrektionsglied klein bleibt. Da es uns nur auf die Grössenordnung ankommt, mögen einige Rechnungsvereinfachungen eintreten.

Es sei gesetzt $k = 1{,}6\,\varepsilon c_v$ [1])

wo k = Wärmeleitfähigkeit,

ε = Reibungskonstante,

c_v = Specifische Wärme bei konstanten Volumen.

Ferner sei mit O. E. Meyer [2]) angenommen, dass die Gleitungskonstante g gleich der mittleren Weglänge L ist.

Ist ϱ die Dichte, so wird dann z. B. für Luft bei 0^0 und 760 mm: $\gamma = 0{,}55$.

Druck und Schwingungszahl seien derartig, dass $\frac{g}{\sqrt{\mu}}\sqrt{n\pi}$ klein gegen 1 ist, sodass nach der Formel A zu rechnen ist.

Es wird dann für 0^0, 0,5 mm *Hg*, $r = 10$ mm, $n = 3182$ ($\sqrt{n\pi} = 100$) $\frac{\gamma}{2r\sqrt{\pi n}} = 0{,}214$; $\frac{g}{r} = 0{,}030$, also $v = 0{,}816$ a (gegen 0,893 a ohne Gleitung).

Unter denselben Verhältnissen wird bei $r = 5$ mm: $\frac{\gamma}{2r\sqrt{\pi n}} = 0{,}214$, $\frac{g}{r} = 0{,}030$, also $v = 0{,}816$ a (gegen 0,786 a).

Bei 0^0 und 0,5 mm Druck, aber $h = 12739$ ($\sqrt{n\pi} = 200$) wird für $r = 10$ mm: $\frac{\gamma}{2r\sqrt{\pi n}} = 0{,}053$; $\frac{g}{r} = 0{,}015$, also $v = 0{,}962$ a gegen 0,947 a, für $r = 10$ mm: $\frac{\gamma}{2r\sqrt{\pi n}} = 0{,}107$; $\frac{g}{r} = 0{,}030$, also $v = 0{,}932$ a gegen 0,893 a.

1) Vgl. z. B. O. E. Meyer, Die kinetische Theorie der Gase, Breslau 1903, 2. Aufl., p. 292.

2) O. E. Meyer, lc. p. 212.

Bei 0°, 2,5 mm Druck, $n = 12739$, $r = 1$ mm ergiebt sich $\frac{\gamma}{2r\sqrt{n\pi}} = 0{,}238$; $\frac{g}{r} = 0{,}150$, also $v = 0{,}912$ a gegen 0,762 a.

Nehmen wir den Druck etwas grösser.

Es sei $p = 7{,}6$ mm, $r = 5$ mm, $n = 963$ ($\sqrt{n\pi} = 55$).

Es wird $\frac{\gamma}{2r\sqrt{n\pi}} = 0{,}10$; $\frac{g}{r} = 0{,}01$, also $v = 0{,}91$ a gegen 0,90 a ohne Gleitung.

Für $p = 7{,}6$ mm, $r = 2{,}5$ mm, $n = 3850$ ($\sqrt{n\pi} = 110$) wird $\frac{\gamma}{2r\sqrt{n\pi}} = 0{,}10$; $\frac{g}{r} = 0{,}02$, also $v = 0{,}92$ a gegen 0,90 ohne Gleitung.

Für $p = 7{,}6$, $r = 0{,}125$, $n = 15407$ ($\sqrt{n\pi} = 220$) wird $\frac{\gamma}{2r\sqrt{n\pi}} = 0{,}10$; $\frac{g}{r} = 0{,}04$, also $v = 0{,}94$ a gegen 0,90 a ohne Gleitung.

Schliesslich sei noch ein Beispiel angegeben, bei dem $\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi}$ nicht mehr klein gegen 1 ist.

Es ist für Luft bei 0°, 0,76 mm Druck und für $n = 50000$ $\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi}$ circa 0,32.

Es wird für $r = 0{,}1$ cm:

$$\frac{\gamma''}{2r\sqrt{\pi n}} = 0{,}178; \quad \frac{g}{2r}\,\frac{1}{(1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{n\pi})^2 + \frac{g^2}{\mu'}n\pi} = 0{,}026.$$

(Allerdings steckt hier ein Teil des Einflusses von g auch in dem Glied $\frac{\gamma}{2r\sqrt{\pi n}}$).

Es wird $v = 0{,}848$ a (gegen 0,822 a ohne Gleitung).

Für $n = 50000$, $r = 0{,}2$ cm, 0,5 mm Druck wird $v = 0{,}919$ a (gegen $v = 0{,}902$ a).

Es zeigt sich also, dass der Einfluss der Gleitung bei gewöhnlicher Temperatur zwar nicht sehr bedeutend ist, aber doch immerhin einige Prozente ausmachen kann, zumal bei recht geringen Drucken.

(Bei extrem geringen Drucken verliert ja schliesslich der Begriff der inneren Reibung seine Bedeutung).

Dämpfung.

Die für die Dämpfung massgebende Grösse ist der reelle Teil von m, m'.

Bei fehlender Gleitung ist $m' = \gamma \frac{\sqrt{\pi n}}{a r}$.

Bei vorhandener Gleitung ist

$$m' = \frac{\sqrt{\pi n}}{ar}\left\{\sqrt{\mu'}\,\frac{1+\frac{g}{\mu'}\sqrt{\pi n}}{(1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{\pi n})^2+g^2\frac{n\pi}{\mu'}}\sqrt{\nu}\left(\frac{a}{b}+\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$+\frac{n g \pi}{ar\left\{(1+\frac{g}{\sqrt{\mu'}}\sqrt{\pi n^2}+g^2\frac{\pi n}{\mu'}\right\}}$$

Ist $\frac{g}{\mu'}\sqrt{\pi n}$ klein gegen 1, so wird annähernd

$$m' = \gamma\frac{\sqrt{n\pi}}{ar} - g\frac{\pi n}{ar} + \frac{n\pi g}{ar} = \gamma\frac{\sqrt{n\pi}}{ar}.$$

Bei geringer Gleitung wird also die Dämpfung so gut wie gar nicht geändert.

Ist dagegen g ausserordentlich gross, so wird

$$m' = \frac{1}{ar}\sqrt{\nu}\sqrt{\pi n}\left(\frac{a}{b}-\frac{b}{a}\right),$$

hängt also nur noch von der Wärmeleitung ab, wie es auch sein muss. Denn wenn die äussere Reibung überhaupt Null ist, so bleibt als wesentlich dämpfender Einfluss in Röhren nur

noch die Wärmeleitung übrig. Der letztere Fall wird allerdings kaum je irgendwo verwirklicht sein.

Experimentell nachweisbar wird der Einfluss der Gleitung jedenfalls erst bei niedrigen Drucken sein. Versuche über die Schallgeschwindigkeit in Röhren bei niedrigen Drucken sind, so weit ich finden kann, bisher noch sehr wenig angestellt.

Es kommen hier in Betracht die Arbeiten von R. Krajewitsch [1]) und A. G. Stoletow.[2]) Ersterer ging herunter bis zu Drucken von etwas über 2 mm. Er fand eine ganz enorme Verringerung der Schallgeschwindigkeit mit dem Druck; z. B. in eine Bleiröhre von 3 mm Durchmesser bei 2,2 mm und 21,3° nur noch 82 m. Bei den sehr geringen Drucken wurde die fortschreitende Luftwelle durch plötzliche Expansion eines kleinen komprimirten Luftquantums hervorgebracht. Es wäre von Interesse, diese Versuche mit wirklichen periodischen Tönen zu wiederholen. Da hier kein bestimmter Wert von n angegeben werden kann, lassen sich an diesen Versuchen die abgeleiteten Beziehungen nicht prüfen.

Die Versuche von Stoletow, die mit Hülfe von Kundt'schen Staubfiguren angestellt sind, gehen nur bis zu 50 mm Druck herunter, sodass der Einfluss der Gleitung bei ihnen noch nicht merklich sein kann und an ihnen eine Prüfung der Theorie nicht möglich ist. Über eigene experimentelle Prüfungen der abgeleiteten Beziehungen hoffe ich demnächst berichten zu können.

1) K. Krajewitsch, J. d. russ. phys.-chem. Ges. (9) **17**, p. 335—397. 1885.

2) A. G. Stoletow, J. d. russ. phys.-chem. Ges. (9) **18**, p. 65—72. 1886.

Über den Inhalt beider in russischer Sprache geschriebenen Abhandlungen findet sich ein sehr ausführliches Referat in Beibl. **11**, p. 15—19. 1887.

Ferner berichtete Herr F. A. Schulze:

Über die Schwingungen von mehreren mit einander mangetisch gekoppelten elektrischen Schwingungskreisen.

Die Schwingungen von zwei mit einander gekoppelten elektrischen Schwingungskreisen sind mehrfach[1]) eingehend theoretisch behandelt, namentlich mit Rücksicht auf ihr Vorkommen bei der drahtlosen Telegraphie und dem Bau von Teslaapparaten. Die Schwingungen von beliebig vielen komplizierten Schwingungskreisen sind ebenfalls öfter,[2]) kürzlich sehr eingehend, besonders im Hinblick auf die Möglichkeit einer Erklärung der Gesetzmässigkeiten in den Spektrallinien, von A. Garbasso[3]) untersucht und die allgemeinen Gleichungen angegeben, auf die man dabei geführt wird. Es seien im folgenden einige Sätze aus diesem Gebiete mitgeteilt, die vielleicht nicht ohne Interesse sind.

Es sollen die Schwingungen einer beliebigen Anzahl von elektrischen Schwingungskreisen untersucht werden, unter den beschränkenden Annahmen, dass die freien Schwingungen der einzelnen ungekoppelten Schwingungskreise alle dieselbe Frequenz besitzen und dass der Widerstand der Kreise zu vernachlässigen ist, ferner dass der Vorgang quasistationär ist, und die Kreise nur magnetisch miteinander gekoppelt sind. Es sei n die Anzahl der Resonatoren, φ_a die Potentialdifferenzen der Belegungen der Kondensatoren, L_{ab} die Selbstinduktionskoefficienten, bez. die gegenseitigen Induktionskoeffizienten, J_a die Stromstärken, K_a die

---

1) A. Oberbeck, Wied. Ann. **55**, p. 632, 1895; J. v. Geitler, Wiener Ber. Febr. u. Okt. 1895; Fürst B. Galitzin, Petersburger Ber. Mai u. Juni 1895. M. Wien; Wied. Ann. **61**, p. 151, 1897; Ann. d. Phys. **8**, p. 686, 1902. P. Drude, Ann. d. Phys. **13**, 513, 1904. R. Domalip u. F. Koláček, Wied. Ann. **57**, p. 731, 1896; V. Bjerknes, Wied. Ann. 55, p. 120, 1895.

2) J. v. Geitler, Wied. Ann. **55**. p. 513. 1895; Wied. Ann. **57**. p. 412. 1896: Wied. Ann. **66**. p. 999. 1898.

3) A. Garbasso, Vorlesungen über theoretische Spektroskopie, Leipzig 1906.

Kapacitäten; die Ableitungen nach der Zeit seien mit Strichen bezeichnet.

Es gelten dann die n Gleichungen:

$$1) \quad \begin{cases} \varphi_1 - L_{11} J_1' - L_{12} J_2' - L_{13} J_3' - \ldots = 0 \\ \vdots \\ \varphi_n - L_{n1} J_1' - \ldots\ldots\ldots - L_{nn} J_n' = 0. \end{cases}$$

Ferner ist:

$$2) \quad J_1 = -K_1 \frac{d\varphi_1}{dt}; \; J_2 = -K_2 \frac{d\varphi_2}{dt} \ldots J_n = -K_n \frac{d\varphi_n}{dt}.$$

Differenziert man jede der Gleichungen 1) nach t, so kommt:

$$3) \quad \begin{cases} \frac{J_1}{K_1} + L_{11} J_1'' + L_{12} J_2'' + \ldots + L_{1n}'' J_n'' = 0 \\ \vdots \\ \frac{J_n}{K_n} + L_{n1} J_1 + \ldots\ldots + L_{nn} J_n'' = 0. \end{cases}$$

Ist ν die Frequenz der Eigenschwingungen der Schwingungskreise, die nach Annahme für alle dieselbe sein soll, so ist

$$4) \quad \nu_1^2 = \frac{1}{L_{11} K_1} = \nu_2^2 = \frac{1}{L_{nn} K_n} = \ldots = \nu^2.$$

Hierdurch werden die Gleichungen:

$$5) \quad \begin{cases} \nu^2 L_{11} J_1 + L_{11} J_1'' + L_{12} J_2'' + \ldots + L_{1n} J_n'' = 0 \\ \vdots \\ \nu^2 L_{nn} J_n + L_{n1} J_1'' + L_{n2} J_2'' + \ldots + L_{nn} J_n'' = 0. \end{cases}$$

Zur Integration dieser Gleichungen sei nun formal der Ansatz gemacht

$$6) \quad J_1 = A_1 e^{Nt}; \; J_2 = A_2 e^{Nt}; \ldots\ldots J_n = A_n e^{Nt}.$$

Setzen wir dann noch $\frac{\nu^2}{N'^2} = N^2$, so wird aus 5)

$$
\begin{aligned}
&(L_{11} + L_{11} N^2) A_1 + L_{12} A_2 + \ldots + L_{1n} A_n = 0 \\
&L_{21} A_1 + (L_{22} + L_{22} N^2) A_2 + \ldots + L_{2n} A_n = 0 \\
&\vdots \\
&L_{n1} A_1 + L_{n2} A_2 + \text{---} + (L_{nn} + L_{nn} N^2) A_n = 0
\end{aligned} \tag{7}
$$

oder, wenn man schreibt $\frac{L_{ab}}{L_{aa}} = k_{ab}$ und jede Gleichung durch L_{11}, bez. L_{22} u. s. w. dividiert

$$
\begin{aligned}
&(1 + N^2) A_1 + k_{12} A_2 + k_{13} A_3 + \ldots = 0 \\
&\vdots \\
&k_{n1} A_1 + \text{---} + (1 + N^2) A_n = 0.
\end{aligned} \tag{8}
$$

Soll es von Null verschiedene Lösungen der A_a dieser Gleichungen geben, so musss die Determinante verschwinden, d. h., wenn $N^2 = z$ gesetzt wird:

$$
\begin{vmatrix}
1+z & k_{12} & \ldots & k_{1n} \\
\vdots & & & \\
k_{n1} & \ldots & \ldots & 1+z
\end{vmatrix} = 0. \tag{9}
$$

Dies giebt eine Gleichung, aus der sich n Werte für $z = N^2$ formal berechnen lassen, die im allgemeinen positiv oder negativ, reell oder komplex sein können.

Ein positiver reeller Wert von N^2 würde keine oscillatorische Bewegung ergeben, und da man ohne weiteres nichts über die Art der Wurzeln weiss, so kann man nichts angeben über die Zahl der wirklichen Oscillationen, aus denen sich die Schwingung der gekoppelten Systeme zusammensetzt.

Nun lässt sich aber zeigen, dass es überhaupt nur reelle, negative Lösungen für N^2 geben kann. Alle n Lösungen für N^2 sind von der Form

$$N^2 = -p^2, \text{ also } N = \pm ip.$$

Der Beweis hierfür ist formal in ganz derselben Weise zu geben, wie er für ein vollkommen analoges Problem aus der Elasticitätstheorie sich findet im Band III der „Vorlesungen über Theoretische Physik von H. von Helmholtz," herausgegeben von Arthur König und Karl Runge.

Es handelt sich dort, p. 10 ff., um die Bewegungen, die ein beliebiges System von Massenpunkten unter dem Einfluss konservativer Kräfte in der Nähe einer stabilen Gleichgewichtslage ausführt.

Die Gleichungen, auf die dieses Problem schliesslich führt, sind formal genau übereinstimmend mit den Gleichungen 7); es sind dies die l. c. p. 15 stehenden Gleichungen 21). Es entsprechen dabei die P_{ab} den L_{ab}, die m_a den L_{aa}, die a_a den A_a, n^2 dem N^2.

Es wird dort bewiesen, dass n^2 nur negative reelle Werte haben kann. Der Beweisgang lässt sich hier unter Benutzung der eben genannten Übertragungen wörtlich so geben, wie dort geschehen ist, sodass auf eine ausführliche Wiedergabe verzichtet und auf die genannte Stelle verwiesen werden kann.

Nur an einer Stelle, die den Kernpunkt des Beweises bildet, muss hier eine Änderung eintreten.

Der Gleichung 22a) (l. c. p. 16)

$$n^2 \sum_b (m_a \cdot a_a^2) = -\sum_a \sum_b P_{ab} \cdot a_a \cdot a_b$$

entspricht hier die Gleichung $N^2 \sum_b L_{aa} \cdot A_a^2 = -\sum_a \sum_b L_{ab} \cdot A_a \cdot A_b$.

Die Doppelsumme rechts ist dort eine stets positive Grösse, weil sie die potentielle Energie des Systems bei der Bewegung in der Nähe des stabilen Gleichgewichts, also in der Umgebung eines Minimums der potentiellen Energie, darstellt.

Hier ist die entsprechende Doppelsumme $\sum_a \sum_b L_{ab} \cdot A_a \cdot A_b$ ebenfalls eine stets positive Grösse, da sie nichts anderes ist, als das doppelte der magnetischen Energie des Stromsystems, wenn die Stromstärken gerade die Werte $A_a \ldots$ haben; und

diese magnetische Energie ist stets positiv, welche Werte die Stromstärken auch besitzen.

Unter Berücksichtigung dieses Umstandes ergiebt sich also, dass es stets n negativ reelle Lösungen für N^2 giebt, dass also stets $N' = \mp i\nu p'$, wo p' positiv reell ist. Man kann also demgemäss (siehe die ausführlichen Darlegungen l. c. p. 17 ff.) stets J_a in der Form ansetzen: $J_a = A_a \cdot Jin\ (\nu p' t + \gamma)$.

Jedem der n-Werte von p' entspricht eine Eigenschwingung des Systems.

Das gegebene elektrische Schwingungssystem schwingt also derartig, dass die Schwingung jedes einzelnen eine Superposition von n Sinusschwingungen ist, deren Frequenzen im allgemeinen sowohl untereinander als von der ursprünglichen Frequenz verschieden sind. Die Grösse dieser n Frequenzen ist aber für alle einzelnen Systemkomponenten dieselbe.

Von Interesse ist nun weiter, in welcher Beziehung die Frequenzen $\nu p'$ des gekoppelten Systems zu derjenigen der einzelnen ungekoppelten Schwingungskreise, zu ν, stehen.

Um hierüber etwas zu erfahren, ist die Determinantengleichung 9) zu betrachten. Diese lässt sich schreiben in der Form:

$$10) \qquad z^n + b_1 z^{n-1} + b_2 z^{n-2} + \ldots + b_n = 0.$$

Hierbei sind die b in einfacher Weise als Summen von Determinanten darstellbar,[1]) und zwar ist der Koefficient von z^{n-m}, b_m, gegeben als Summe aller Determinanten $(n-m)$ten Grades, die sich aus der Determinante

$$\begin{vmatrix} 1 & k_{12} & k_{13} & \ldots & k_{1n} \\ k_{21} & 1 & \ldots & \ldots & k_{2}^{n} \\ \cdot & & & & \\ \cdot & & & & \\ \cdot & & & & \\ k_{n1} & \ldots & \ldots & \ldots & 1 \end{vmatrix}$$

1) R. Baltzer, Theorie und Anwendung der Determinanten. 5. Auflage. Leipzig 1881, p. 37 u. 38.

ergeben in der Weise, dass man immer je m gleichliegende Vertikal- und Horizontalreihen fortlässt.

Hier ist nun offenbar $b_1 = n$.

b_1 ist aber die negative Summe aller Wurzeln der Gleichung 10).

Es muss also mindestens einer der Werte von N^2 zwischen -1 und $-\infty$, und mindestens einer zwischen 0 und -1 liegen, oder:

Unter den n Frequenzen des gekoppelten Systems ist mindestens eine kleiner, und mindestens eine grösser als die ursprüngliche Frequenz der einzelnen ungekoppelten Schwingungskreise.

Im einzelnen können diese Frequenzen sonst beliebig zu den ursprünglichen gelegen sein; es hängt dies von der zufälligen Lage des Systems ab.

Von Interesse ist schliesslich vielleicht noch die Folgerung, dass die kleinste der möglichen Frequenzen nicht unter $\frac{\nu}{\sqrt{n}}$ heruntergehen kann, was einfach daraus folgt, dass die Summe der Quadrate der Frequenzen $= \frac{\nu^2}{n}$ ist. Es kann nun im äussersten Fall so sein, dass $n - 1$ der Summanden Null sind, der letzte Summand ist dann eben $= \frac{\nu^2}{n}$. Es ist dies um so mehr der Fall, je mehr sich die Koppelung einer ganz festen nähert.

Sitzungsberichte

der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Nr. 5 **Mai** **1906**

In der ordentlichen Sitzung vom 9. Mai sprach Herr Römer (nach gemeinschaftlichen Versuchen mit Dr. Much):

Ueber intestinale Antitoxinresorption.

Während wir die grosse Mehrzahl der Medikamente an unsere Patienten verfüttern und erwarten, dass sie auf diesem Wege zur Wirkung gelangen, spritzen wir das Diphtherieserum und sonstige schutz- und heilkräftige Sera unter die Haut oder führen sie in andere künstlich geöffnete Gewebe ein. Hierbei leitet uns die Erfahrung, dass vom Magen-Darm aus die Antitoxine nicht ins Blut übergehen. Das erscheint uns nicht verwunderlich, da wir einerseits die enge Verknüpfung der antitoxischen Funktion mit den genuinen Eiweisskörpern des Blutserums kennen und anderseits wissen, dass die genuinen Proteine im Magendarmkanal durch die Verdauungssäfte zu Albumosen, Peptonen und noch weiter gehenden Spaltungsprodukten abgebaut werden, ehe sie zur Resorption gelangen. Da aber jede Denaturierung des antitoxischen Eiweisses von Antitoxinverlust begleitet ist und der völlige Abbau des genuinen Eiweissmoleküls auch zur völligen Vernichtung der antitoxischen Funktion führt, können wir schon a priori nicht erwarten, dass wir nach Verfütterumg antitoxischen Serums im Blut der gefütterten Individuen Antitoxin finden, und Experimente bestätigen überdies diese Vermutung.

Indes dürfen diese Angaben doch nicht vollkommen verallgemeinert werden. Wie zuerst Ehrlich an abrin- und ricinimmunen Mäusen gezeigt hat, gehen auch auf intestinalem Wege Antitoxine über und zwar durch den Akt der Säugung bei Neugeborenen — eine Tatsache, die später auch für das Diphtherie- und Tetanusantitoxin bestätigt und uns verständlich wurde, nachdem nachgewiesen war, dass das Antitoxin aus dem Blute säugender Mütter in die Milch übergeht. Auch hier zeigt es sich eng an das genuine Milcheiweiss — das Laktalbumin und das Laktoglobulin — geknüpft.

Vor mehreren Jahren (1901) berichtete ich über quantitative Antitoxinbestimmungen im Blute eines Fohlens, das von diphtherieimmuner Mutter stammend antitoxinfrei geboren wurde und unter dem Einfluss der Säugung eine bis zum 12. Lebenstag allmählich steigende Antitoxinmenge im Blut aufwies. Von diesem Tage ab verminderte sich der Antitoxingehalt rasch; es mussten also die Verhältnisse für eine Antitoxinresorption ungünstiger geworden sein. Daraus zog ich die Schlussfolgerung, dass der Magendarmkanal Neugeborener zwar Antitoxin und damit auch genuines Eiweiss unverändert resorbiert, nicht aber der Intestinaltraktus älterer oder ausgewachsener Individuen.

Eine Stütze erhielt meine Angabe durch die Untersuchungen Ganghofner's und Langer's, die unter Benutzung einer etwas anderen Versuchsanordnung die Giltigkeit meiner Behauptung auch für Hunde, Katzen, Kaninchen, Zickel und auch für den menschlichen Säugling feststellten.

Salge studierte die gleiche Frage in zwei Arbeiten, in denen er nachwies, dass beim menschlichen Neugeborenen Antitoxin übergeht, wenn man es der Mutter bezw. der Amme in Form von antitoxischem Serum unter die Haut spritzt, dass die Antitoxinresorption aber ausblieb, wenn er der Milch erst in der Flasche das antitoxische Serum zusetzte oder wenn er seinen Säuglingen Ziegenmilch verabreichte, die infolge einer isopathischen Immunisierung des milchliefernden Tieres Antitoxin enthielt.

Eine unmittelbare Vergleichung der Salge'schen Versuchsreihen untereinander hinsichtlich der Bedingungen, unter denen

eine intestinale Antitoxinresorption stattfindet oder ausbleibt, ist deshalb nicht möglich, weil es sich in dem einen Fall um natürlich d. h. mit Muttermilch, im andern Fall um künstlich d. h. mit artfremder Milch ernährte Säuglinge handelt.

Neuerdings hat dann noch Uffenheimer das gleiche Thema bearbeitet. Er stellte beim neugeborenen Meerschwein stets intestinalen Antitoxinübergang fest, während er beim ausgewachsenen Tier denselben immer vermisste. Auch er bestätigt also meine Angaben, wenn er auch in der Deutung der von mir und ihm beobachteten Phaenomene mit mir differiert.

Inzwischen hatte ich in einer vor 1½ Jahren veröffentlichten Arbeit die Frage von neuem in Angriff genommen. Es kam mir damals vor allem darauf an zu erfahren, ob auch unter wirklich vergleichbaren physiologischen Bedingungen sich Unterschiede zwischen neugeborenen und älteren Individuen hinsichtlich der intestinalen Antitoxinresorption ergaben. An diese Versuche schliessen sich — wenn auch nicht der Zeit, so doch dem Sinn nach — unsere neuerdings angestellten Experimente an.

Unsere Versuche erstrecken sich zunächst auf quantitative Antitoxinbestimmungen in der Milch mit Tetanusantitoxin behandelter Kühe und im Blute der mit solcher antitoxischen Milch ernährten Kälber.

Die in Tabelle 1 übersichtlich zusammengestellten Versuche beziehen sich auf Kühe, denen grössere Dosen tetanusantitoxinhaltigen Pferdeserums (Spalte 2) unter die Haut gespritzt wurden, und zwar den Rindern 72, 75 und 70 vor dem Abkalben, dem Rind 67 5 Tage nach dem Kalben (Spalte 3). Der Antitoxingehalt in der Milch dieser Tiere wurde bei den erstgenanten Tieren kurz nach dem Kalben, bei Nr. 67 24 Stunden nach der Seruminjektion bestimmt (Spalte 4). Das Serum des jungen Kalbes, das sich in allen (auch den nachher aufzuführenden Versuchen) unmittelbar nach der Geburt immer antitoxinfrei erwies, wurde nach 7tägiger Säugung des Jungen durch das Muttertier auf Antitoxin quantitativ untersucht (Spalte 7). Was die Berechnung der ge-

nannten verfütterten Antitoxinmenge (Spalte 6) betrifft, so sind wir von der — im grossen und ganzen wohl richtigen — Annahme ausgegangen, dass jedes Kalb im Durchschnitt 5 Liter Milch pro Tag aufgenommen hat; ferner haben wir angenommen, dass der Antitoxingehalt in der Milch des Muttertieres während der 7tägigen Versuchsperiode sich nicht verändert hat. Diese Annahme ist nun sicher unrichtig, da wir aus Erfahrung wissen, dass der Antitoxingehalt in der Milch vom Tage des Kalbens ab sich allmählich vermindert. Wir sind uns dieser Fehlerquelle also wohl bewusst. Das Ergebnis der nachfolgenden Untersuchungen wird aber dadurch noch eindeutiger. Die Berechnung der gesamten Antitoxinmenge im Blut der Kälber (Spalte 8) ist in allen Versuchen auf 2500 kcm Blutserum berechnet, was der Wahrheit wohl auch ziemlich nahe kommen dürfte, da alle Kälber im Gewicht nur um weniges (über oder unter 50 kg) differierten. Das quantitative Gesamtergebnis eines jeden Versuches (Spalte 9) macht also nicht den Anspruch auf absolute Exaktheit, während jede unserer einzelnen Antitoxinbestimmungen mit Recht dies wohl tun darf.

Tabelle 1.

A. Versuche am Kuheuter.

1 Rd. Nr.	2 Zahl der injicirten A. E.	3 Tag der letzten Serum-Injektion	4 Antitoxingehalt in 1 kcm Muttermilch	5 Dauer der Säugung	6 Gesamtmenge der verfütterten A. E.	7 Antitoxinmenge in 1 kcm Blutserum des Kalbes	8 Gesamter Antitoxingehalt im Blut des Kalbes	9 Resorbiert war von der gesamten verfütterten Antitoxinmenge ca.
72	400	6 Tage vor dem Kalben	$^1/_{500}$	7 Tage	70	$^1/_{350}$ A. E.	7 A. E.	$^1/_{10}$
75	800	5 Tage vor dem Kalben	$^1/_{100}$	7 „	350	$^1/_{200}$ A. E.	12,5 A. E.	$^1/_{30}$
70	1600	1 Tag vor dem Kalben	$^1/_{100}$	7 „	350	$^1/_{300}$ A. E.	8,5 A. E.	$^1/_{40}$
67	800	5 Tage nach dem Kalben	$^1/_{70}$	7 „	500	$^1/_{1000}$ A. E.	2,5 A. E.	$^1/_{200}$

Die vorstehende Tabelle zeigt also, dass unter im übrigen denselben Bedingungen in der Zeit vom 5.—12. Lebenstage der Magendarm des Kalbes etwa zehnmal weniger Antitoxin passieren lässt als in der Zeit vom 1.—7. Tage.

Die Tabelle 2 bezieht sich auf Kälber, die von einer nicht mit Tetanusantitoxin behandelten Mutter stammten; auch sie wurden mit Muttermilch ernährt. Dieselbe wurde ihnen aber in der Flasche gereicht und ausserdem wurden der Milch über die ganze Tagesportion verteilte kleine Mengen tetanusantitoxinhaltigen Pferdeserums zugesetzt (Spalte 3). Die Gesamtmenge verfütterten Antitoxins (Spalte 4) ist in diesem Fall natürlich genau bestimmt.

Tabelle 2.

B. Flaschenversuche (künstlicher Antitoxingehalt der Milch.)

1 Nr. des Kalbes	2 Zeitpunkt des Antitoxin-Zusatzes	3 Menge des verfütterten Antitoxins pro Tag	4 Insgesamt verfütterte Antitoxin-Menge	5 Dauer der Antitoxin-Fütterung	6 Antitoxinmenge in 1 kcm Blutserum des Kalbes	7 Gesamter Antitoxingehalt im Blut des Kalbes	8 Resorbiert war von der gesamten verfütterten Antitoxinmenge ca.
152	Sofort nach der Geburt	25	175	7 Tage	$^1/_{2500}$ A.E.	1 A. E.	$^1/_{175}$
151	Vom 5. Lebenstage an	30	210	7 „	$^1/_{25000}$ A.E.	$^1/_{10}$ A. E.	$^1/_{2100}$

Diese Versuche lehren zunächst, dass auch an Pferdeserumeiweiss — also an heterogenes Eiweiss — geknüpftes Antitoxin bei neugeborenen Kälbern ins Blut übergeht. Sodann stimmt ihr Ergebnis insofern mit den ersten Versuchen am Kuheuter überein, als auch hier in den ersten 7 Lebenstagen ca. 10 mal mehr Antitoxin ins Blut übergegangen ist, als in der Zeit vom 5.—12. Tag.

Vergleichen wir nun aber die Zahlen nach ihrer absoluten Grösse mit denen der Tabelle 1, so ergiebt sich, dass in jenen Versuchen am Kuheuter etwa 10 mal mehr Antitoxin über-

gegangen ist, als in den Flaschenversuchen. Beide Versuchsreihen sind unter durchaus vergleichbaren Bedingungen vorgenommen: In allen Fällen handelte es sich um normal geborene und normal sich entwickelnde Kälber, alle sind mit der Milch ihrer Mutter ernährt; die Antitoxinmengen entsprachen sich ebenfalls ungefähr, das Antitoxin entstammte demselben (carbolsäurefreien) Pferdeserum.

Eine Differenz liegt nun zunächst darin, dass es sich im ersten Fall um natürliche Ernährung, im zweiten Fall um Flaschenfütterung handelt. Es wäre in der Tat denkbar, dass dieser Umstand die Differenz in dem quantitativen Ergebnis der beiden Versuchsreihen erklärt. Es ist durchaus nicht ohne weiteres die Möglichkeit ausgeschlossen, dass das junge Kalb gegen diese Störung seiner natürlichen Ernährung so empfindlich ist, dass es Nahrungsstoffe schlechter resorbiert.

Es war leicht experimentell zu prüfen, ob dieses Moment eine Rolle spielt.

Die in Tabelle 3 aufgeführten beiden Versuche entsprechen in der Versuchsanordnung genau den in Tabelle 1 beschriebenen Experimenten, nur dass den beiden Kälbern der in Tabelle 3 zusammengestellten Versuche die Muttermilch in der Flasche gereicht wurde, dass sie also nicht direkt vom Euter wie die Tiere der Tabelle 1 die Milch nahmen.

Tabelle 3.

C. Flaschenversuche (natürlicher Antitoxingehalt der Milch).

1 Rd. Nr.	2 Zahl der injicirten A. E.	3 Tag der letzten Serum-Injektion	4 Antitoxingehalt in 1 ccm Muttermilch	5 Dauer der Säugung	6 Gesamtmenge der verfütterten A. E.	7 Antitoxinmenge in 1 ccm Blutserum des Kalbes	8 Gesamter Antitoxingehalt im Blut des Kalbes	9 Resorbiert war von der gesamten verfütterten Antitoxinmenge ca.
96	600	2 Tage vor dem Kalben	$^1/_{150}$	2 Tage	35	$^1/_{500}$ A. E.	5 A. E.	$^1/_7$
92	600	4 Tage vor dem Kalben	$^1/_{300}$	6 „	150	$^1/_{400}$ A. E.	6 A. E.	$^1/_{25}$

Der erste dieser Versuche ist nicht absolut vergleichbar mit denen der Tabelle 1, weil das junge Kalb nur 2 Tage lang die antitoxische Milch aufnahm. Immerhin zeigt er im Verein mit dem durchaus jenen ersten Versuchen entsprechend angestellten Versuch an Rd. 92 deutlich, dass die Flaschenernährung an sich wohl kaum die Differenzen zwischen den Versuchen der Tabelle 1 und Tabelle 2 erklärt.

Es bleibt somit nur die Annahme übrig, dass das Antitoxin bei seiner Passage durch den Rinderkörper und bei seinem Uebergang in die Milch eine Umwandlung erfährt, die es zur Resorption im Magen-Darmkanal des neugeborenen Kalbes geeigneter macht.

Worin ist diese Umwandlung zu suchen?

Es drängte sich uns zunächst die Frage auf, ob in der Milch ein solches „Passage-Antitoxin“ überhaupt noch an Pferdeserumeiweiss gebunden erscheint. Chemisch ist es, wie bekannt, bisher unmöglich, das Bluteiweiss verschiedener Tierarten voneinander zu differenzieren. Es gelingt aber auf biologischem Wege.

Spritzen wir einem Kaninchen wiederholt grössere Mengen des Serums einer bestimmten Tierart ein und versetzen das Serum dieses serumbehandelten Kaninchens nach gewisser Dauer der Behandlung mit dem Serum eines Tieres derjenigen Art, deren Serum zur Behandlung gedient hat, so tritt ein Niederschlag auf; derselbe bleibt aus, wenn das Serum irgend einer anderen Tierart oder das Serum eines nicht behandelten Kaninchens benutzt wird. Diese biologische Methode zum specifischen Nachweis von Eiweiss hat bekanntlich grosse Bedeutung in der forensischen Praxis für die Identificierung verdächtiger Blutflecken bekommen. Für den nachfolgenden Versuch verwandten wir ein zum biologischen Nachweis von Pferdeeiweiss geeignetes specifisch fällendes („präcipitierendes“) Kaninchenserum.

Einem Rinde (Nr. 81) injicierten wir 50 kcm Tetanusserum, nahmen ihm 24 Stunden später eine Milchprobe ab und stellten uns aus 15 kcm derselben durch Säurefällung des Caseins Molke her. In der gleichen Weise gewannen wir eine Molke

aus der Milch einer normalen d. h. noch nicht mit Tetanusserum behandelten Kuh und aus der Milch derselben Kuh, nachdem wir der Milch Tetanusserum ($^1/_{30}$ A. E. zu 15 kcm) zugesetzt hatten. Diese drei in gleicher Weise hergestellten Molken versetzten wir mit dem specifisch fällenden Kaninchenserum und dem Serum eines nicht behandelten Kaninchens.

Tabelle 4.

2 kcm Molke:	0,1 kcm Antiserum	0,1 kcm normales Kaninchenserum
Normalmolke Rind 93	0	0
$^1/_5$ Normalmolke Rind 93	0	0
$^1/_{10}$ Normatmolke Rind 93	0	0
Antitoxinmolke Rind 93	Niederschlag	0
$^1/_5$ Antitoxinmolke Rind 93	Trübung	0
$^1/_{10}$ Antitoxinmolke Rind 93	Opalescenz	0
Molke Rind 81	0	0
$^1/_5$ Molke Rind 81	0	0
$^1/_{10}$ Molke Rind 81	0	0

Es gab also die Molke von Rind 81 mit dem spezifischen Antiserum keine Spur einer Reaktion. Die Antitoxinmolke von Rind 93, die aus einer Milch gewonnen wurde, der künstlich d. h. ausserhalb des Tierkörpers Antitoxin zugesetzt war, gab noch in der fünf- und zehnfachen Verdünnung mit dem gleichen Antiserum die klassische Reaktion. Die Molke von Rind 81 verhielt sich gegenüber dem specifisch Pferdeeiweiss fällenden Serum genau wie eine Normalmolke.

Die Antitoxinprüfungen ergaben, dass die Normalmolke des Rd. 93 keine Spur Antitoxin enthielt, während die Antitoxinmolke Rd. 93 und die Molke Rd. 81 genau $^1/_{1000}$ A. E. pro kcm — also beide gleiche Mengen Antitoxin pro kcm — enthielten.

Leider war es uns nicht möglich an weiteren Versuchen zu prüfen, ob das Ausbleiben der Präzipitin-Reaktion beim Zusammenbringen eines präzipitierenden Serums und einer Kuhmilchmolke, stammend von einer Kuh, der antitoxisches Pferde-

serum unter die Haut gespritzt war, in allen Fällen beobachtet wird, da wir nicht im Besitz weiterer hochwertiger präzipitierender Sera waren. Sollte aber in weiteren Versuchen die geschilderte Erscheinung als etwas Gesetzmässiges sich erweisen, so würden unsere Untersuchungen zunächst die Schlussfolgerung berechtigt erscheinen lassen, dass das Antitoxin in der Milch solcher mit Pferdeantitoxin behandelter Kühe nicht mehr in der Form vorhanden ist, wie wir es in einer Milch nachweisen können, der wir erst ausserhalb des Kuheuters das antitoxische Pferdeserum zusetzen. Es muss also bei der Passage des antitoxischen Pferdebluteiweisses durch den Rinderkörper das Substrat der antitoxischen Funktion eine Modifikation erfahren haben. Es liegt nahe, diese Umwandlung als den Grund für die Differenz in dem quantitativen Ergebnis jener eingangs geschilderten Brust- und Flaschenversuche anzusehen.

Für die Erklärung dieser eigenartigen Umwandlung des Antitoxins möchten wir folgenden Hypothesen Raum geben. Die eine geht dahin, dass eine Umwandlung des „Pferdeantitoxins“ in „Rinderantitoxin“ stattfindet, dass also ein Ueberspringen der antitoxischen Funktion vom Pferdeserumeiweiss auf das Kuhmilcheiweiss eintritt. Diese Hypothese würde, als richtig erwiesen, uns zeigen, dass homologes Antitoxin durch den Akt der Säugung wohl in beträchtlicheren Mengen übertragen wird, nicht aber heterologes Antitoxin.

Andererseits aber könnte man daran denken, dass das Substrat der antitoxischen Funktion in der Kuhmilch nach Injektion von antitoxischem Pferdeserum zwar Pferdeserum-Eiweiss bleibt, dass aber dasselbe seine Reaktionsfähigkeit gegenüber einem specifisch präzipitierenden Serum verliert. Endlich wäre es möglich, dass Antitoxin in der Milch von Kühen, denen subkutan antitoxisches Serum injiziert ist, sich überhaupt nicht mehr in der engen Verknüpfung mit dem genuinen Eiweiss findet wie sonst, dass also die Milchdrüse imstande wäre, die antitoxische Funktion von dem genuinen Eiweiss zu trennen. Indes ist diese Annahme so kühn und widerspricht so sehr allem, was wir bisher

über die Natur antitoxisch wirkender Stoffe wissen, dass wir noch einmal ausdrücklich den hypothetischen Charakter dieser letzten Annahme betonen möchten. Wir sind zur Zeit mit Untersuchungen beschäftigt, welche zeigen sollen, ob eine der geschilderten Hypothesen zutreffend ist.

Jedenfalls aber können wir soviel aus unseren Versuchen folgern, dass die Passage durch den Rinderkörper das antitoxische Pferdebluteiweiss derart verändert, dass es vom jungen Kalbe besser resorbirt wird.

Die in seiner klassischen Arbeit über „Immunität durch Vererbung und Säugung" ausgesprochene Vermutung Ehrlich's, dass die Milchdrüse so zweckmässig funktioniert, dass sie dem Säugling nur für ihn nützliche Stoffe zuführt, erhält somit durch unsere Untersuchungen eine neue Stütze. Für die Praxis ergibt sich aus der Beobachtung des geschilderten Phaenomens die Folgerung, immer der natürlichen Ernährung an der Mutterbrust — wenn auch nicht in jedem konkreten Fall, so doch im Prinzip — den Vorzug vor der künstlichen Ernährung zu geben.

Die Natur verfügt über — sit venia verbo — Kunstgriffe, deren Bedeutung wir gerade in der Milchfrage erst langsam anfangen zu würdigen.

In der anschliessenden Geschäfts-Sitzung wurden gewählt:
zum Vorsitzenden:

Herr Geh.-Reg.-Rat Professor Max Bauer:

zu Mitgliedern des engeren Ausschusses:

Herr Prof. E. Korschelt, stellvertretender Vorsitzender
„ „ F. Schenk
„ „ F. Richarz.

In der Sitzung vom 14. II. wurde Herr Professor Thumb zum ausserordentlichen Mitgliede gewählt.

Aufgelegte Schriften:

Bayern. Ornitholog. Gesellsch. in Bayern. Verhandlungen 1904. Bd. V. München 1905.
Boston. The American Naturalist. 40. Bd. No. 470.
Brünn. Naturf. Verein. Verhandlungen 1904. 43. Bd 1905.
Brünn. Naturf. Verein. 23. Bericht der meteorol. Commission pro 1903. 1905.
Emden. Naturf. Gesellschaft. 89. Jahresber. 1903/4. 1905.
Halle a. S. Leopoldina. 42. Heft. No. 2.
Illinois. State laboratory Urbana. Bulletin VII. 5^6.
Luxemburg. Société des naturalistes (Fauna). Comptes-rendus. 15. Jahrg. 1905.
Mexico. Instituto geologico. Parergones I. Bd. No. 9. 1905.
Napoli. Academia delle scienze fisiche. Rendiconto III. Ser. XI. Bd. fasc. 8—11. (Aug. — Nov. u. 12. 1905). 1905.
New-York. Public library. Bulletin X. Bd. No. 1. 1906.
Roma. Accademia dei Lincei. Atti Ser. V. Bd. XV. fasc. 1/2. 1906.
Washington. Smithsonian Institution. Bulletin 28 of the Bureau of American Ethnology. geb.
Wien. Geolog Reichsanstalt. Verhandlungen 1905. No. 16/18. Titel. u. Umschlag. 1906. No. 1.
Feltgen, J., Vorstudien zu einer Pilzflora Luxemburgs. I. Th. Ascomycetes. Nachträge IV. Luxemburg 1905.
Orthographie zoolog.-anatomischer Fachausdrücke. Leipzig.
Results of the Swedisch zoological expedition to Egypt. 1901. II. Th. Upsala 1905.
Leopoldina. Heft XLII. No. 3. u. 4. Halle a. S. März/April 1906.
Verh. d. naturf. Ges. in Basel. Band XVIII. Heft 2. Basel 1906.
Korrespondenzblatt des Naturforscher-Vereins zu Riga. XLVIII. Riga 1905.
Tromsó Museums Aarshefter 21 u. 22. 1898—99. Tromsó 1904.
" " " 26. 1903. " 1904.
" " " 27. 1904. Tromsó 1905 06.
" " Aarsberetning for 1901, 1902, 1903, 1904. Tromsó 1902, 1903, 1904, 1905.
Bergens Museums Aarsberetning for 1905. Bergen 1906.
" " Aarbog 1905. 3 die Hefte Bergen 1905.
Arkiv för Kemi, Mineralogi och Geologi. Band 2 Häfte 2. Upsala-Stockholm 1906.
Arkiv för Zoologie. Band 3 Häfte 1. Upsala-Stockholm 1906.
" " Botanik. " 5 " 1—2. Upsala-Stockh. 1906.
An account of the Crustacea of Norway. Vol. V. Parts XI and XII. Bergen 1906.
Bulletin de la Société Géologique de Belgique. Tome XXXII. Liége 1906.

Atti della R. Accademia dei Lincei. Vol. XV. Fasc. 3, 4, 5, 6. Roma 1906.
Bulletin de l'Académie Imp. des Sciences de St. Pétersbourg. V. Sér. Tome XVII. No. 5. XVIII. 1903. XIX. 1903. XX. 1904. XXI. 1904. St. Pétersbourg 1902/1905.
U. St. Geological Survey Professional Paper No. 34, 36, 37, 38, 40, 41, 41, 42. Washington 1904/1905.
U. St. Geological Survey Monographs. Vol. XLVIII. Part. I/II.
U. St. Geological Survey Bulletin No 247, 251, 256, 263, 266, 267, 268, 270, 271, 276. Washington 1905.
U. St. Geological Survey Water-Supply Paper No. 123, 125, 127, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 149, 151, 152. Washington 1905.
Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences. Vol. XLI. No. 17—19. 1905—1906.
Smithsonian Miscellaneous Collections Vol. XLVIII. Quarterly Issue Vol. III Part 2. Washington 1905.
Smithsonian Institution Bureau of American Ethnology Bulletin 29. Washington 1905.
Smithsonian Institution Bureau of American Ethnology 23 d Annual Report 1901—1902. Washington 1904.
Dep. of the Interior Ethnological Survey Publications. Vol. II. Parts II III. Vol. IV. Part I. Manila 1905.
Journal of the Elisha Mitchell Scientific. Soc. Vol. XII. No. 1. Chapel Hill. N. C. 1906.
University of Montana Bulletin No. 28. 29. Missoula.
" " " " No. 31. 1904—05. (2 Exempl.).
Tufts College Studies Vol. II No. 1. Tufts College Mars. Dec. 1905.
Mycological Notes by C. G. Lloyd No. 19, 20; Index Vol. I. 1898—1905. Cincinnati, Ohio.
U. S. Dep. of Agriculture No. 534. Monthly List of Publications.
Bulletin of the New-York Public Library Vol. X No. 2, 3, 4. New-York 1906.
The American Naturalist Vol. XL No. 471, 472. Boston 1906.
Regenwaarnemingen in Nederlandsch-Indie 1904, utg. d. L. K. Obs. Batavia 1905.
Boletín del Instituto Geológico de México No. 21. México 1905.
Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Cordoba. Tomo XVIII extrega 2a. Buenos-Aires 1905.
Anales del Museo Nacional de Buenos-Aires. Ser. III. Tomo V.
Mitteilungen aus der medicinischen Facultät der K. Japanischen Univ. zu Tokyo. Bd. VI. No. 4. Tokyo 1905.
XV. Congrès international de médicine. Bulletin officiel. No. 7 u. 8. Lisbonne 1906.

Sitzungsberichte

der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Nr. 6 **Juni** **1906**

In der ordentlichen Sitzung vom 13. Juni sprach Herr L. Aschoff:

Ueber Untersuchungen des Herrn Dr. Bennecke, die Einwanderung von Russ in die Lungen betreffend.

M. H.! Es wird Ihnen bekannt sein, dass insbesondere durch die zahlreichen Arbeiten Herrn v. Behrings die Frage nach der Tuberkulose-Infektion des Menschen von allen Seiten mit erneutem Eifer in Angriff genommen worden ist. Es liegt mir fern, hier in eine Diskussion der Tuberkulosefrage einzutreten, da wir noch weit davon entfernt sind, ein nur einigermassen klares Bild über denjenigen Infektionsweg zu besitzen, auf welchem die Lungenschwindsucht am häufigsten zu Stande kommt. Nur einen Punkt möchte ich hervorheben. Dass sich der Erwachsene bezüglich der Lokalisation und Ausbreitung der Tuberkulose anders verhält wie das Kind, ist eine bekannte Tatsache. Beim Erwachsenen beherrscht die Lungenschwindsucht, die Darmschwindsucht, die Tuberkulose der harnleitenden Wege und des Geschlechtsapparates das Feld, beim Kinde die Lymphdrüsentuberkulose, die Knochentuberkulose, die Tuberkulose des Mittelohres, des Gehirns und seiner Häute. Die eine Periode geht allmälig in die andere über. Die eigentümliche

Tatsache, dass beim Kind der Tuberkelbacillus die Eintrittspforten, Darmschleimhaut, Bronchien, Lungen, Rachenschleimhaut leicht durchwandert, ohne an ihnen tuberkulöse Veränderungen zu erzeugen, und sich erst in den Lymphknoten festsetzt, haben pathologische Anatomen wie Weigert und Orth vor vielen Jahren eingehend gewürdigt und auch bereits nach Gründen dafür gesucht. Naturgemäss wird man zunächst nach histologischen Differenzen suchen, um diese glatte Resorbirbarkeit der Bazillen von den Schleimhäuten und dem Lungengewebe der Kinder aus, zu erklären. Herr v. Behring, welcher in der intestinalen Infektion (Mund, Rachen, Speiseröhre, Darmkanal) die Hauptquelle der menschlichen Tuberkulose sieht, hat grade dieser Frage sein besonderes Interesse zugewandt und mit Herrn Disse zusammen unter Anderm eine Erklärung darin gesucht, dass beim Neugeborenen die Epitheldecke defekt, besser gesagt die Schleimschicht nicht genügend entwickelt sei. Ich habe mich mit anderen Autoren, ich nenne nur Benda, gegen diese Hypothese ausgesprochen, da die Verhältnisse der Schleimbildung, die überdies für die Mundhöhle, einem grossen Teil der Rachenhöhle und die Speiseröhre überhaupt nicht in Frage kommen, am Magendarmkanal des Neugeborenen viel zu wechselnde sind und nach meinen Erfahrungen grade am Darm, der doch als grösste und wesentlichste Resorptionsfläche in Betracht kommt, die Schleimbildung beim Neugeborenen eine stärkere ist wie durchschnittlich beim Erwachsenen, wofür ich Ihnen überzeugende Praeparate in der Sitzung unserer Gesellschaft demonstriren durfte. Die von der pathologischen Anatomie aufgeworfene und von Herrn v. Behring mit Recht in den Vordergrund geschobene Frage, warum die Schleimhäute des Magen-Darmkanals beim menschlichen Neugeborenen so auffallend durchlässig für den Tuberkelbacillus sind, ist bis jetzt histologisch nicht gelöst, wenn auch Benda beachtenswerte Hinweise gegeben hat. Dass man überdies Verhältnisse beim Tier nicht ohne Weiteres auf den Menschen übertragen darf, habe ich grade in Rücksicht auf die im hiesigen Institut ausgeführten Untersuchungen Schmidts über die Bil-

dung der Mekoniumkörperchen beim Hunde auseinandergesetzt und Uffenheimers interessante Versuche bestätigen dies in biologischer Hinsicht. Trotzdem behält die Frage ihre grosse Bedeutung und die Arbeiten von Uffenheimer, Römer und andern weisen auf die Wege hin, auf denen die Frage ihrer Lösung näher kommen wird. Ich wende mich nun zu den Lungen.

Von vielen Seiten wird heute eine primäre Infektion des Lungengewebes durch die Tuberkelbazillen bestritten oder für sehr selten erklärt. Die mit der Athemluft aufgenommenen Tuberkelbazillen sollen schon viel früher abgefangen werden und gar nicht in die Lunge gelangen. Die eingeathmeten Bazillen können also wohl eine Infektion der Mund-, Nasen- und Rachenhöhle hervorrufen, aber keine Infektion des Lungengewebes. Überhaupt sollen die mit der Athemluft aufgenommenen Bazillen nur eine geringe Rolle spielen. Weit wichtiger sind die mit der Milch und anderen Nahrungsmitteln oder sonst wie in die Mundhöhle gebrachten und damit auch meist in den übrigen Darmkanal verschleppten Bazillen. Von dem Intestinum aus wird der Körper infizirt und die Lunge erkrankt auf dem Blut- oder Lymphwege. Das soll sowohl für Kinder, wie für Erwachsene gelten. So gewiss nun eine solche Infektion nicht auszuschliessen ist, ebensowenig kann umgekehrt der Beweis dagegen als erbracht gelten, dass das eigentliche Lungengewebe in vielen Fällen primär durch die Athemluft infizirt wird. Mag nun aber die Infektion der Lunge erfolgt sein, auf welchem Wege sie wolle, so bleibt doch der Unterschied in der tuberkulösen Erkrankung beim Kinde und Erwachsenen bestehen. Wenn beim Erwachsenen die Lunge selbst viel ausgiebiger und schwerer erkrankt und der Prozess relativ langsam verläuft, während beim Kinde das Lungengewebe selbst mehr oder weniger verschont bleibt und die bronchialen Lymphknoten ausgiebig verkäsen, so könnten auch hierfür histologische Veränderungen, welche die Lunge beim Erwachsenen erfahren hat, wenigstens als unterstützendes Moment zur Erklärung herangezogen werden. Ein jeder Mensch

athmet unter den heutigen zivilisirten Verhältnissen grosse Mengen Russ ein und dieser wird in den Lymphbahnen der Lunge abgelagert und so rein mechanisch der Weg für den Tuberkelbacillus zu den Lymphknoten verlegt. Wenn also beim Erwachsenen durch die Verbreiterung der Einströmungsbahn (Nase, Luftröhre, Bronchien) viel mehr bazillenhaltiges Material als beim Kind direkt in die Lungen transportirt werden kann, so wird der Bazillus um so leichter im Lungengewebe stecken bleiben und hier seine deletäre Wirkung ausüben, je mehr die Lymphbahnen der Lunge durch vorherige Russaufnahme verlegt sind, eine mehrfach verfochtene Hypothese, die zu dem Vorschlag führte, durch Einathmen von Kohlenstaub die Ausbreitung der Schwindsucht zu hemmen.

Diese Frage über den Einfluss der Russablagerung in den Lungen auf die Resorptionsfähigkeit nachträglich eingebrachter Tuberkelbazillen habe ich durch meinen Assistenten Herrn Dr. Bennecke experimentell in Angriff nehmen lassen. Leider bisher mit unzureichendem Erfolge, da es sehr schwer ist, in kurzer Zeit die Lungen der Hunde so mit Russ anzureichern, dass eine genügend beweisende Versuchsreihe gewonnen werden könnte. Trotzdem möchte ich über diese Inhalationsversuche, die Herr Dr. Bennecke vorläufig abbrechen musste, kurz berichten, insofern sie für die Frage, wie eigentlich der Russ in die Lungen gelangt, verwertbar sind. Die Gegner der primären Infektion des respiratorischen Lungengewebes mit Tuberkelbazillen durch die Athmungsluft leugnen auch, dass der Russ primär in das respiratorische Lungengewebe abgelagert wird, sondern glauben, dass er schon höher oben in der Mund-, Nasen und Rachenhöhle, oder doch wenigstens in den grossen Luftwegen abgefangen und von da aus durch die Lymphwege und Blutwege in das Lungengewebe gelangt. So hat sich schon Villaret 1863 dahin geäussert, dass der Russ vom Darm aus durch die Lymphbahnen in die Mesenterialdrüsen, das Pfortaderblut, Leber, Cava inferior in die Lungen gelange, ähnlich, wie es jetzt für den Tuberkelbacillus als häufigstes Vorkommnis hingestellt wird.

Ja man hat sogar die Staublunge als Beweis dagegen angeführt dass feine corpusculäre Elemente mit dem Luftstrom bis in das respiratorische Lungengewebe geführt werden. Herr Dr. Römer, welcher gleichfalls die primäre Infektion des Lungengewebes, bestreitet, ist der Meinung, „dass grade die Staublunge ein indirekter Beweis dafür ist, dass der Tuberkelbacillus nicht primär-alveolär angreift; denn den Lungenstaub finden wir in den allerverschiedensten Teilen des Respirationstraktus zerstreut und nicht an besonders bevorzugten Stellen abgelagert. Im übrigen muss auch erst noch bewiesen werden, dass der Staub sich primär in den Lungenalveolen ansiedelt.“ Ähnlich äussern sich v. Weismayr und andere Autoren. So hoch ich nun die moderne aetiologische Forschung schätze, so glaube ich doch darauf hinweisen zu dürfen, dass auch in dieser Frage die pathologische Anatomie, freilich schon vor längerer Zeit, einige bemerkenswerte Vorarbeiten geleistet hat, die gewiss die Berücksichtigung aller jener Tuberkuloseforscher verdienen, welche das Eindringen corpusculärer Elemente in das eigentliche Alveolengewebe mit dem Luftstrom leugnen. Der von jener Seite geforderte Beweis ist in einer ausgezeichneten Arbeit von Arnold im Jahre 1885 erbracht worden. Er liess Tiere Russ inhaliren und wies einwandsfrei nach, dass dieser Russ, wie vorher schon Knauf und Andere behauptet, durch Alveolarepithelien und Lymphocyten in den Alveolen aufgenommen und intracellulär oder frei von den Alveolen aus in die Lymphspalten des Alveolargerüstes und von dort aus in die Lymphknoten transportirt wird. Die beiden Einwände, die gemacht werden konnten, dass nämlich der Russ bereits in der Bronchialschleimhaut aufgenommen und direkt in die bronchialen Lymphknoten und von dort aus rückwärts in das Alveolargewebe transportirt werde oder dass er von dem Darm aus oder sonstwo resorbirt und auf dem Blutwege in die Lungen gebracht würde, konnte er bereits widerlegen. Eine irgendwie nennenswerte Resorption von Russ an der Bronchialschleimhaut liess sich nicht feststellen. Nur dort wo Lymphknötchen unter der Schleimhaut lagen, konnten gelegentlich

russbeladene Lymphocyten zwischen den Epithelzellen bemerkt werden, von denen aber Arnold es für wahrscheinlicher hält, dass sie auswandern, statt einwandern. Unter den Versuchen des Herrn Dr. Bennecke, die, wie die aufgestellten Praeparate zeigen, die starke alveoläre und interalveoläre Ablagerung des eingeathmeten Russes ganz im Sinne Arnolds beweisen, befand sich ein solcher, wo eine nachträgliche Injektion von Carmin durch Zufall nicht in das Lungengewebe, sondern in das peribronchiale Bindegewebe der Lunge erfolgt war. Auch hier kann man eine Unterstützung für die Arnold'sche Hypothese finden, insofern man hier und da mit Carmin beladene Wanderzellen sieht, welche sich stark der Schleimhautoberfläche genähert, ja zum Teil das Epithel zu durchsetzen im Begriff sind oder bereits frei in das Lumen des Bronchus gelangt sind Da auch Herr Dr. Bennecke so gut wie nie freie Russstäubchen zwischen den Bronchialepithelien fand und nur selten russbeladene Lymphocyten im Epithel gefunden wurden, und zwar nur bei andauernder aber nicht bei ganz frischer Inhalation, sondern hier der Russ vorzugsweise in den Epithelien der Bronchioli respiratorii, Alveolargängen und im Gerüstgewebe derselben frei und intracellular lag, so muss wohl die Annahme der bronchialen Resorption völlig oder so gut wie völlig zu Gunsten der alveolären ausscheiden. Hier möchte ich noch die Tatsache hervorheben, dass, wie die Praeparate zeigen, die Russablagerung in den Epithelien und in der Wand ganz scharf an der Stelle beginnt, wo die kleineren Bronchien in die Bronchioli respiratorii übergehen, also das respiratorische Epithel das Flimmerepithel allmälich zu ersetzen beginnt. Grade an dieser Stelle haften nun auch nach den Erfahrungen der pathologischen Anatomie beim Menschen die bakteriellen Keime, welche mit der Athmungsluft in die Bronchien gelangen, am leichtesten, wie es besonders die hier aufgestellten Praeparate von käsiger Bronchiolitis zeigen.

Aber die Möglichkeit bestand noch, dass das Pigment an an anderer Stelle, z. B. an den jetzt vielfach in den Vordergrund geschobenen Tonsillen aufgenommen und nun durch die Lymph-

bahn bis zu den bronchialen Lymphdrüsen und von dort aus in das alveoläre Lungengewebe transportirt worden wäre. Dagegen sprechen 3 Versuche des Herrn Dr. Bennecke, die so angestellt worden waren, dass durch eine Trachealfistel nach vollständiger Verheilung derselben durch einen eingeführten mit Trichter versehenen Schlauch die Russeinathmung einmal bis 196 mal je 10—20 Minuten lang erfolgte. Hier waren die Tonsillen umgangen. Freilich konnte nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass ein kleiner Teil des Russes ohne tracheale Athmung auf natürlichem Wege in die Lunge und zwar auf dem Lymphwege durch die Tonsillen gelangt war. Nun zeigten aber die starken Russablagerungen bei diesen tracheatomirten Hunden die gleiche Anordnung, wie die Russablagerungen bei solchen Tieren, welche künstlich oder unter natürlichen Bedingungen der Einathmung von Russ durch Nasen- und Rachenhöhle ausgesetzt gewesen waren. Das sprach dafür, dass in beiden Fällen sowohl bei den tracheotomirten wie nichttracheotomirten Tieren der gleiche Weg, d. h. der direkte in erster Linie gewählt wird. Der Russ konnte nun vielleicht nebenher noch den Weg über die Tonsille eingeschlagen haben. Herr Dr. Bennecke fand aber in keinem Falle eine Anthrakose der cervicalen Lymphknoten, sondern nur eine solche der bronchialen, trachealen und retrosternalen. In den Tonsillen liessen sich regelmässig, gelegentlich auch in den cervicalen Lymphknoten ausser dem fast stets vorhandenen gelblichen Blutpigment kristallinisch mineralische Massen und gröbere Kohlenpartikelchen, häufig von Riesenzellen umschlossen nachweisen, aber nie das zu dichten Häufchen geballte feine anthrakotische Pigment, wie es die Lungen und die ihr zugehörigen Lymphknoten aufweisen. Also war auch eine Einwanderung vom lymphatischen Rachenring durch die cervicalen Lymphknoten hindurch ausgeschlossen.

Endlich war noch die Frage zu erörtern, ob vielleicht auf dem Blutwege der irgendwo im Verlauf des tractus intestinalis aufgenommene Russ in die Lungen transportirt worden wäre. Nun ist es eine bekannte Tatsache, dass wenn beim Menschen

einmal ein Einbruch eines anthrakotischen Lymphknotens in die Blutbahn erfolgt, der Russ in dem Knochenmark, in der Leber, mit Vorliebe jedoch in der Milz an bestimmten Stellen abgelagert wird. Arnold berichtet schon, dass er trotz sehr sorgfältiger Kontrolle so gut wie niemals in der Milz, der Leber, dem Knochenmark Russpartikelchen bei den Versuchstieren gefunden habe. Das ganz vereinzelte Vorkommen einzelner schwarzer Körnchen ist nicht zu verwerten, da trotz aller Vorsichtsmassregeln einzelne Körnchen als Verunreinigung in das Präperat gelangen können. Das gleiche bestätigen die Benneckе'schen Beobachtungen. So kann diese zu ganz anderen Zwecken unternommene Versuchsreihe nur den Arnold'schen Satz bestätigen, dass der mit der Athmungsluft aufgenommene Russ primär in dem respiratorischen Lungengewebe abgelagert wird und nicht von der Tracheal-, Bronchial- oder Intestinalschleimhaut aus in das alveoläre Lungengewebe sekundär einwandert. Der von den Gegnern der primären Inhalations-Lungentuberkulose geforderte Beweis primärer Ansiedelung des Russes im respiratorischen Lungengewebe ist von Neuem erbracht. Sie werden jetzt den Beweis erbringen müssen, dass für den Tuberkelbazillus nicht die gleichen Bedingungen möglich sind, wie für den Russ.

Zu diesem Vortrag bemerkte Herr Dr. Römer: Herr Prof. Aschoff ging davon aus, dass bei Kindern sich vorwiegend Tuberkulose der Lymphdrüsen und der serösen Häute findet, während bei Erwachsenen die Lungentuberkulose mehr im Vordergrunde des pathologisch-anatomischen Bildes steht. Die Frage des differenten Verhaltens jugendlicher Individuen und Ausgewachsener gegenüber der tuberkulösen Infektion hat jüngst Calmette einer experimentellen Untersuchung unterzogen. Er verfütterte Tuberkelbazillen an neugeborene Individuen und fand dann regelmässig Tuberkulose der mesenterialen Drüsen und Lungentuberkulose; bei Erwachsenen dagegen fand er lediglich Tuberkulose der Lungen und keine Spuren der stattgehabten

Infektion in den mesenterialen Drüsen oder an der Darmwand. Calmette schliesst daraus, dass die Lungentuberkulose in der Hauptsache durch Bazillen veranlasst wird, die auf intestinalem Wege eindringen.

Da nun die Staublunge immer zum Beweis der Möglichkeit einer primär-alveolären tuberkulösen Lungen-Infektion herangezogen wird, hat Calmette durch zwei Schüler (Vansteenberghe und Grysez) auch die Entstehung der Staublunge experimentell untersucht. Führte er z. B. chinesische Tusche in den Magen ein, so entwickelte sich bei erwachsenen Individuen regelmässig eine Lungenanthrakose und zwar ohne jede Beteiligung der mesenterialen Drüsen, ein Ergebnis das also dem Versuch mit Tuberkelbazillen ziemlich entspricht. Liessen die genannten Untersucher Staub von ihren Versuchstieren einatmen, so entwickelte sich ebenfalls eine Staublunge; sie blieb aber aus trotz der Einatmung des Staubes, wenn vorher der Oesophagus unterbunden war, während bei den Kontrolltieren (d. h. bei Tieren mit nicht unterbundenem Oesophagus) sich die Staublunge in typischer Weise entwickelte.

Endlich führten die genannten Forscher noch folgendes Experiment aus: Sie verstopften, nachdem sie vorher eine tiefe Tracheotomie gemacht hatten, den einen Bronchialast und liessen dann die operierten Tiere Staub einatmen. Es fand sich dann nachher der Staub nicht nur in der Lunge, deren zuleitender Bronchus offen geblieben war, sondern auch in der Lunge mit obturiertem Bronchus.

Das zeigt denn doch deutlich, dass man nicht berechtigt ist bei Befund von Staub in den Lungen ohne weiteres eine direkt alveoläre Einwanderung des Staubes anzunehmen. Die Möglichkeit, dass unter besonderen Versuchsbedingungen Staub bis in die Alveolen gelangt und von hier aus auch aufgenommen wird, soll nicht bestritten werden. Man ist aber auf Grund experimenteller Feststellungen, wie der geschilderten, doch wohl kaum mehr berechtigt, ohne weiteres eine pulmonale (d. h. durch die Schleimhäute der Bronchien und der Bronchiolen

erfolgende) oder gar alveoläre Einwanderung von Staub anzunehmen, wenn man den Staub vorzugsweise in den Lungen findet. Besonders dürften diese Erwägungen für die natürlich entstandene Staublunge gelten, deren Entstehung mit der durch immer etwas gewaltsame Eingriffe erzeugten experimentellen Anthrakose nicht ohne weiteres in Parallele gesetzt werden darf.

Es liegt ja sehr nahe, wenn man die Lunge vorzugsweise infiziert sieht, wie in manchen Fällen menschlicher Tuberkulose, eine direkte pulmonale oder gar alveoläre Einwanderung des infizierenden Agens anzunehmen. Wie wenig berechtigt solche a priorische Vermutungen aber sind, mag Ihnen folgende experimentelle Tatsache sehr drastisch demonstrieren. Injiziert man Mäusen bestimmte Dosen stark virulenter Tuberkulosekulturen, so findet man, wenn mehrere Monate vergangen sind, weder an der Infektionsstelle noch in den benachbarten Drüsen erkennbare Veränderungen, auch die Bauchorgane sind frei von eigentlichen tuberkulösen Veränderungen (es besteht nur eine intensive Milzschwellung); dahingegen findet man eine enorm ausgedehnte Tuberkulose d. h. Knotenbildung in den Lungen. Würde man, ohne die Schicksale dieser Mäuse zu kennen, ihre Sektion vornehmen, so würde bei dem Befunde einer ausschliesslich die Lungen betreffenden Tuberkulose der Gedanke an eine direkte Einwanderung von den Luftwegen her ebenfalls recht nahe liegen, trotzdem aber falsch sein.

Um nochmals auf die Staublunge zurückzukommen, so soll die Möglichkeit nicht bestritten werden, dass eine pulmonale oder alveoläre Staub-Einwanderung stattfinden kann; ich kann aber in den von Professor Aschoff mitgeteilten Versuchen keinen zwingenden Beweis dafür erblicken, dass der Lungenstaub bei den betreffenden Versuchshunden lediglich oder auch nur in der Hauptsache primär-alveolär eingewandert ist. Meine Zweifel bezüglich einer primär-alveolären Einwanderung des Staubes bei der spontan entstandenen Lungenanthrakose muss ich daher um so mehr aufrecht erhalten.

Herr Aschoff erwidert:

Auf den in der Diskussion seitens des Herrn Dr. Römer gemachten Einwurf, dass unsere forzirten Experimente nicht auf die natürlichen Verhältnisse übertragbar seien und dass neuere im Dezemberheft der Annales de l'Institut Pasteur veröffentlichte Versuche von Vansteenberghe und Grysez die intestinale Quelle der Anthrakosis pulmonum wahrscheinlich machten und somit die Versuche des Herrn Dr. Bennecke nichts für die normale Ablagerung des Russes in das respiratorische Gewebe aus der Athemluft bewiesen, habe ich folgendes zu erwidern. Ein Teil unserer Experimente ist, wie ich bereits betonte, so angestellt, dass die Tiere einfach Luft, die stark mit Russ geschwängert war, einathmeten. Solche stark mit Russ geschwängerte Luft athmen auch sehr viele Menschen. Noch beweisender aber ist, dass unter unseren Präparaten auch solche eines Hundes sind, der unter ganz natürlichen Verhältnissen, nämlich als Wachhund auf einem Kohlenlager am Bahnhof, sich eine starke Anthrakose der Lungen, die freilich diejenige der älteren menschlichen Individuen noch lange nicht erreichte, zugezogen hatte. Auch hier fanden sich gleiche Verhältnisse wie bei den Versuchshunden. Endlich kann man bei jedem älteren Meerschweinchen die Ablagerung der Russpartikelchen in den Alveolarepithelien und das Fehlen in oder zwischen den Bronchialepithelien konstatiren. Wenn bei menschlichen Individuen, die sich in letzter Zeit nicht mehr so stark der Russinhalation ausgesetzt hatten, das peribronchiale lymphatische Gewebe reicher an Russ gefunden wird, als das alveoläre, so liegt das eben daran, dass der Russ allmählig aus den Alveolen in die bronchialen Lymphknoten einwandert, eine der Plathologie bekannte Tatsache. Die Lunge reinigt sich. Damit fallen auch die Einwände Aufrechts, dessen Ausführungen überdies einen Mangel an Kenntnis normaler Verhältnisse in der Schilderung der Beziehungen der Rundzellenanhäufungen (Lymphknötchen) zur Bronchialwand verraten. Was schliesslich die Versuche von Vansteenberghe und Grysez anbetrifft, so sind gegen dieselben so viel Einwände zu erheben,

dass ihre einzelne Widerlegung einen unverdient breiten Raum einnehmen würde. Dass Russ oder chinesischen Tusche, welche in das Peritoneum gespritzt wird, in den Lymphknötchen der Lunge und den Bindegewebszellen derselben abgelagert werden kann, ebenso wie in anderen lymphatischen Apparaten, erscheint selbstverständlich. Ob sie auch in den Alveolarepithelien vorkommen, wie stets bei der physiologischen Anthrakose der Lungen, sagen die Verfasser leider nicht. Dass bei Russverfütterung die mesenterialen Lymphknoten bei jugendlichen Tieren Russ aufnehmen, dagegen bei älteren Tieren nicht, ist nur eine Bestätigung für die bekannten Befunde mit dem Tuberkelbazillus. Dass aber die nach solchen Versuchen bei älteren Tieren in den bronchialen Lymphknoten gefundenen Russmengen auch auf dem Wege vom Darm dahin gelangt seien, dafür fehlt bei dem mangelnden Nachweis des Russes in den mesenterialen Lymphknoten dieser Tiere (die Leberbefunde werden nicht mitgeteilt) jeder Schatten des Beweises. Wieweit überhaupt bei älteren Tieren an sich schon Russ in den bronchialen Lymphknoten vorkommt, erörtern die Verfasser überhaupt nicht. Auch kann bei der relativen Grösse der Luftwege bei den älteren Tieren viel leichter Russ bei den Fütterungsversuchen aspirirt worden sein. Dass die Verfasser bei kurzdauernden Inhalations-Versuchen keinen Russ in der Trachea gefunden haben, will ich gerne glauben, dass sie aber keine Spur von Russ in dem Lungengewebe gefunden haben, ist schwer verständlich, da alle alten Tiere, Meerschweinchen und Kaninchen, feinste Russmassen überall im Lungengewebe erkennen lassen. Vielleicht haben die Verfasser nicht genügend mikroskopisch danach gesucht oder die Luft im Pasteurinstitut in Lille musss eine besonders russreine sein. Dass eine Unterbindung oder Durchschneidung des Ösophagus Schwellungen der oberen Luftwege und damit ein Hinderniss für Russeinathmung schafft, erscheint mir auch begreiflich.

Wenn endlich die Verfasser einen Hauptast des Bronchialbaumes verstopfen und dann das Tier einer langen Einathmung von Russ aussetzen und schliesslich die nicht verstopften und die

verstopften Lungenabschnitte gleichmässig anthrakotisch finden aber in dem verstopften Gebiet den Russ nur in dem interstitiellen Gewebe, in den offenen Lungenabschnitten auch in den Alveolen und Bronchiallumen feststellen können, so spricht das so schlagend dafür, dass der Russ in die offenen Lungenabschnitte durch den Athmungsstrom, in den verstopften aber nur durch Resorption durch die Lymphbahnen, wahrscheinlich von der Pleura aus hineingelangt ist, wenn nicht etwa der verstopfte schon vorher anthrakotisch gewesen war und Bronchien und Alveolen durch Transport in das interalveoläre Gewebe gereinigt waren, dass es gar keiner weiteren Beweise für die intraalveoläre Ablagerung des Russes mit der Athmungsluft bedarf. Denn das Bild anthrakotischer Lungen beim Menschen und Tier entspricht unter natürlichen Bedingungen stets den Verhältnissen, wie sie die Verfasser für die offenen Lungenabschnitte schildern, nicht aber denen in den verschlossenen Gebieten. Ich komme also zu dem Schluss, dass die von Herrn Römer angezogenen Versuche der französischen Autoren, die wahrlich eher forzirte und unnatürliche zu nennen sind als unsere, nicht nur nicht gegen, sondern, soweit sie überhaupt genügend histologisch gesichert sind, für die alte Arnold'sche Lehre sprechen.

Darauf machte Herr F. A. Schulze folgende Mitteilungen:

Über die Änderung der Dielektricitätskonstante durch mechanische Deformationen und Temperaturänderungen.

Die Änderungen, welche die Dielektricitätskonstante einer Substanz durch mechanische Deformationen, namentlich durch eine allseitig gleiche Compression, sowie ferner durch Änderungen der Temperatur erfährt, wurden bisher theoretisch wesentlich durch die Clausius-Mosottische Formel

$$\frac{D-1}{D+2} \cdot \frac{1}{d} = \text{const}$$

bestimmt. (D = Dielektricitätskonstante, d = Dichte).

Es ist bekannt, dass diese Formel die Temperaturabhängigkeit der Dielektricitätskonstante bei Flüssigkeiten oft befriedigend,

vielfach jedoch nur mangelhaft darstellt, bei festen Körpern sogar völlig versagt. Auch im Fall allseitig gleicher Compression ist die Clausius-Mosottische Formel nicht richtig. Röntgen[1]) konnte für Wasser bei einem allseitig gleichen Druck von 500 Atmosphären keine 1 % übersteigende Änderung der Dielektricitätskonstante konstatiren, während nach der Formel von Clausius-Mossotti bei diesem Druck die Dielektricitätskonstante von Wasser 225 sein müsste.

Bei festen Körpern ist die Änderung der Dielektricitätskonstante durch eine allseitig gleiche Compression bisher noch nicht bestimmt worden.

Eine bemerkenswerte Verallgemeinerung der Clausius-Mosottischen Formel auf den Fall anisotroper Dielektrika ist von Lampa[2]) gegeben worden. Lampa führt die Rechnung auf zwei verschiedene Arten durch. Einmal nimmt er an, dass die in das Dielektrikum eingelagerten leitenden Partikeln nicht Kugeln, sondern Ellipsoide sind, die das Dielektrikum in gleicher Dichte erfüllen und deren entsprechende Axen bei allen gleiche Richtung haben. Andererseits wird die Annahme zu Grunde gelegt, dass die eingelagerten Leiter wie nach Clausius-Mosotti Kugeln sind, die aber nicht nach allen Richtungen gleich dicht liegen, sondern in Richtung der drei Coordinatenaxen verschieden dicht gelagert sind. Beide Hypothesen führen zu denselben Endformeln. Durch Messungen der Dielektricitätskonstante von gezogenem Kautschuk senkrecht zur Richtung des Zuges hat Lampa eine Prüfung seiner Theorie vorgenommen und eine gute Bestätigung gefunden.[3])

---

1) W. C. Röntgen, Wied. Ann. **52.** 593. 1894.

2) A. Lampa, Wiener Sitz.-Ber. **104.** Abth. II a. Juli u. Dec. 1895, p. 681. **111.** Abth. II a Juli 1902, p. 982.

3) Durch einen kleinen Schreibfehler, auf den O. Wiener, Phys. Zeitschr. **5**, p. 332, 1904, aufmerksam gemacht hat, wird allerdings die Differenz zwischen Theorie und Beobachtung etwas grösser, immerhin bleibt die Grössenordnung der berechneten und beobachteten Änderung der Dielektricitätskonstante dieselbe. Siehe dort übrigens auch die von O. Wiener erhobenen prinzipiellen Bedenken gegen Lampas Rechenmethode.

Nachdem die moderne Elektronentheorie eine veränderte Auffassung von der Dielektricitätskonstante eines Körpers herbeigeführt hat, liegt es nahe zu untersuchen, ob sich aus ihr die Möglichkeit ergiebt, theoretisch die Änderungen, welche die Dielektricitätskonstante einer Substanz durch mechanische Deformationen und Temperaturänderungen erfährt, zu begreifen, und mit anderen Erscheinungen in Beziehung zu setzen, und quantitativ oder wenigstens qualitativ vorherzusagen.

I. Änderungen der Dielektricitätskonstante durch allseitig gleiche Compression und Temperaturänderungen.

Wir wenden uns zunächst zu den Änderungen der Dielektricitätskonstante, die durch Eingriffe entstehen, bei denen die Substanz isotrop bleibt, also die durch eine allseitige gleiche Compression oder durch Temperaturänderungen eintreten.

Für isotrope Medien führt nun die Elektronentheorie nach P. Drude [1]) für die Dielektricitätskonstante bei unendlich langsamen elektrischen Wellen ε_∞ zu dem Ausdruck:

1) $$\varepsilon_\infty = 1 + 4\pi \sum_s \frac{N_s e_s^2}{k_s}.$$

Es ist dabei N_s die Anzahl der Elektronen der Gattung s in der Volumeinheit, e_s die elektrische Ladung dieser Elektronen, k_s die quasielastische Kraft, durch die sie an ihre Ruhelage gebunden sind.

Wäre also für jede Elektronengattung bekannt, wie sich durch eine Compression oder Temperaturänderung diese drei Grössen N_s, e_s und k_s ändern, so könnte man die entsprechenden Änderungen von ε_∞ berechnen.

Von vornherein wird man unbedingt annehmen können, dass die Grössen e_s konstant bleiben müssen. Betreffs der Änderung von N_s sei die *Voraussetzung* gemacht, dass sich N_s *nur* nach Massgabe der jeweiligen Änderung der Dichte ändere,

1) P. Drude, Lehrbuch der Optik, Leipzig 1900, p. 356.

d. h. also, es wird vorausgesetzt, dass bei den mechanischen oder thermischen Einwirkungen keine Elektronen verschwinden oder neu erzeugt werden.

Was nun drittens die Änderung der quasielastischen Kraft k_s betrifft, so lässt sich hierüber im einzelnen quantitativ nichts bestimmtes angeben; es ist jedoch W. Voigt[1]) gelungen, durch Anwendung der Elektronentheorie des Lichts auf die Änderungen, die bei mechanischen oder thermischen Einwirkungen die optischen Eigenschaften, namentlich der Brechungsexponent, erleiden, in Verbindung mit den experimentellen Bestimmungen, über die Änderungen der quasielastischen Kraft k_s durch Compression oder Temperaturänderungen folgende interessanten einen charakteristischen Gegensatz zwischen festen und flüssigen Körpern bildenden allgemeinen Sätze aufzustellen, die möglichst wörtlich zu citieren hier gestattet sei:

1) . . . . Es ergiebt sich, dass bei den untersuchten (11) Flüssigkeiten, aber wahrscheinlich allgemeiner, die quasielastischen Kräfte, welche die Elektronen erfahren, durch eine Compression im Mittel abnehmen, die Stabilität der Elektronenbewegung um die Ruhelage also geringer wird.

2) . . . Hieraus folgt, dass die quasielastischen Kräfte, welche die Elektronen einer Flüssigkeit erfahren, bei einer Erwärmung unter konstantem Druck im Mittel zunehmen, die Stabilität der Elektronenbewegung also grösser wird.

3) Für diejenigen festen und optisch isotropen Körper, für die bis jetzt vollständige Beobachtungsreihen vorliegen, . . . ergiebt sich für die quasielastische Kraft das umgekehrte Verhalten wie bei Flüssigkeiten, nämlich bei ausgeübter allseitiger Compression eine Intensitätszunahme der Kraft und somit eine Vergrösserung der Stabilität der Elektronenbewegung.

4) Die von Herrn Pulfrich beobachteten Glassorten und regulären Krystalle, ergeben bei Temperaturerhöhungen unter konstantem Druck im Mittel eine Abnahme der quasielastischen

1) W. Voigt, Ann. d. Phys. 6, p. 459, 1901.

Kräfte, welche die Elektronen dieser Körper erfahren im Gegensatz zu dem bei Flüssigkeiten Nachgewiesenen.

Durch diese 4 Sätze ist es nun ermöglicht, qualitativ die Änderung der Dielektricitätskonstante durch Druck und Temperatur vorherzusagen.

a) Flüssigkeiten.

Nach dem ersten Satz von Voigt wird bei Flüssigkeiten bei Compression k im Mittel kleiner. N_s wird infolge einer Compression grösser, also wird durch allseitige Compression ε_∞ grösser: *Die Dielektricitätskonstante einer Flüssigkeit nimmt bei allseitiger Compression zu.*

In der That hat F. Ratz [1]) bei einer Reihe von Flüssigkeiten Zunahme der Dielektricitätskonstante bei allseitiger Compression gefunden.

Nach dem zweiten Satz von Voigt nimmt bei Flüssigkeiten bei Temperaturerhöhung k im Mittel zu. Da die Dichte dabei abnimmt, so nimmt auch N_s ab, und es folgt: *die Dielektricitätskonstante einer Flüssigkeit nimmt mit der Temperatur ab.*

In der That ist dies das Verhalten aller beobachteten Flüssigkeiten.

Bei Wasser findet zwischen 0° und 4° eine Dichtigkeitszunahme statt. Die Versuche [2]) haben auch in diesem Intervall eine Abnahme der Dielektricitätskonstante mit steigender Temperatur ergeben. Während dies mit der Formel von Clausius-Mossotti nicht verträglich ist, ist dieses Verhalten nach Formel 2) durchaus möglich. Dass die Dielektricitätskonstante in diesem Intervall abnimmt, ist dann darauf zurückzuführen, dass die relative Zunahme der quasielastischen Kräfte überwiegt über die relative Zunahme der Dichte.

b) Feste Körper.

Bei festen Körpern ergiebt die analoge Anwendung der beiden von Herrn W. Voigt gefundenen Sätze 3) und 4) keine bestimmte eindeutige Regel über die Änderung der Dielektri-

1) F. Ratz, Ztschr. f. phys. Chem. **19.** 86. 1896.

2) A. Franke, Wied. Ann. **50.** 163. 1893.

citätskonstante durch allseitige Compression und Temperaturänderungen.

Bei Temperaturabnahme nimmt nach Satz 4) k_s im Mittel ab, ebenso nimmt N_s ab, sodass es unbestimmt bleibt, ob ε_∞ zu- oder abnimmt.

Bei Temperaturerhöhung kann bei festen Körpern die Dielektricitätskonstante sowohl zu- als auch abnehmen.

In der That haben bei festen Körpern die experimentellen Bestimmungen sowohl Zunahme als auch Abnahme der Dielektricitätskonstante mit der Temperatur ergeben. Die Regel scheint allerdings eine Zunahme der Dielektricitätskonstante mit der Temperatur zu sein.

Bei allseitiger Compression nehmen bei festen Körpern nach Satz 3) die Kräfte k_s zu. Da auch N_s zunimmt, so bleibt die Änderung von ε_∞ bei allseitiger Compression wieder unbestimmt.

Bei allseitiger Compression kann bei festen Körpern sowohl Zunahme als Abnahme der Dielektricitätskonstante eintreten.

Versuche hierüber liegen nicht vor.

Die Voraussetzung, dass weder bei Druck noch bei Temperaturänderung Elektronen verschwinden oder neu entstehen, ist natürlich bei allen diesen Sätzen notwendig. Namentlich bei Temperaturänderungen könnte diese Voraussetzung nicht unbedenklich erscheinen. Zur Rechtfertigung könnte vielleicht dienen, dass in Metallen, die dem Gesetz von Wiedemann und Franz folgen, nach der von P. Drude [1]) gegebenen Theorie dieses Gesetzes aus der Elektronentheorie, diese Annahme erfüllt ist. Übrigens wird diese Annahme auch von W. Voigt in der citirten Arbeit gemacht.

II. Änderung der Dielektricitätskonstante durch einseitigen Zug oder Druck.

Es werde jetzt zu dem Fall einseitigen Zugs oder Druckes übergegangen, der die vorher isotropen Körper anisotrop macht.

1) P. Drude, Ann. d. Phys. **1**. 566. 1900.

Für eine solche anisotrope Substanz sind die drei Hauptdielektricitätskonstanten ε_1, ε_2, ε_3 in Richtung der drei Hauptdilatationen δ_1, δ_2, δ_3, sowie nun auch die drei hauptquasielastischen Kräfte k_1, k_2, k_3 zu unterscheiden.

Nach Drude[1]) ist

$$\varepsilon_r = 1 + 4\pi \sum_s \frac{N_s e_s^2}{k_s}; \; r = 1, 2, 3.$$

Wir benutzen die von Herrn W. Voigt (l. c. 321) für den Fall einer beliebigen Deformation aufgestellten Ausdrücke

4) $$4\pi \vartheta^4 \sum_s \frac{N_s k_s e_s^2 p_s}{(k_s \vartheta^2 - m_s)^2} = P$$

5) $$4\pi \vartheta^4 \sum_s \frac{N_s k_s e_s^2 p_s'}{(k_s \vartheta^2 - m_s)^2} = P'.$$

Hierin ist ϑ die Periode des einfallenden Lichtes, m_s die Masse des Elektrons; p_s und p_s' sind folgendermassen definirt: Aus k_s wird bei der Deformation: $k_s (1 + \beta_{sr})$, wobei $\beta_{sr} = (p_s - p_s')\delta_r + p_s' \Delta$, $\Delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$. p_s und p_s' sind der Elektronengattung eigentümliche Konstanten.

Über die Änderung von N_s machen wir wieder dieselbe Voraussetzung wie im vorigen Abschnitt.

Für die weitere Rechnung nehmen wir zunächst an, es sei nur eine einzige Elektronengattung vorhanden, bestimmen danach die p und p' nach Vorzeichen und dem Grössenverhältnis, und ziehen daraus die Folgerungen über die Änderung von k_s.

Im Mittel nehmen wir die so gefundene Änderung von k auch als beim Vorhandensein mehrerer Elektronengattungen gültig an. Hierin liegt natürlich eine gewisse Unsicherheit.

Es wird $P = 4\pi \vartheta^4 \frac{N k e^2}{(k\vartheta^2 - m)^2} \cdot p = A \cdot p$

1) P. Drude, Lehrbuch der Optik, Leipzig 1900, p. 376.

$$P' = 4\pi\vartheta^4 \frac{Nke^2}{(k\vartheta^2 - m^2)} \cdot p' = A \cdot p',$$

wobei $A = \dfrac{4\pi\vartheta^4 Nk}{(k\vartheta^2 - m)^2}$ stets positiv.

Es wird dann $\beta_r = \dfrac{1}{A}\{(P - P')\delta_r + P'\Delta\}$.

Das Vorzeichen von β_r ist durch dasjenige der Klammer $\{\ \}$ bestimmt, und durch dieses ist dann auch der Sinn der Änderung von k_r gegeben, nach der Beziehung $k_{sr} = k_s(1 + \beta_{sr})$.

A. Änderung der Dielektricitätskonstante in Richtung des Zuges.

1 sei die Richtung des Zuges; $\delta_1 = \delta$ also positiv; $\delta_2 = \delta_3 = -\mu\delta$, wo μ die Elasticitätszahl. $\Delta = \delta(1 - 2\mu)$.

Es wird

$$\beta_{sr} = \frac{1}{A}\{(P - P')\delta + P'(1 - 2\mu)\} = \frac{\delta}{A}(P - 2\mu P').$$

Das Vorzeichen von β_{sr} bestimmt sich mithin durch dasjenige von $P - 2\mu P'$. Nun ist P und P' von F. Pockels [1]) für eine Anzahl Gläser und regulärer Krystalle bestimmt, bez. von W. Voigt aus den Messungen von F. Pockels berechnet worden. Die Werte sind in der folgenden Tabelle, die auch noch die Werte von μ enthält, zusammengestellt:

Subst.	O_{428}	S_{305}	O_{558}	2155	1571	500	S_{57}	Fluss-spat	Stein salz-	Syloin
P	—0,62	—0,519	—0,539	—0,416	—0,276	—0,115	+ 0,74	—0,811	—0,605	—0,093
P'	—0,06	—0,027	—0,026	+0,056	+0,109	+0,105	+ 0,44	—0,091	—0,373	—0,381
μ	0,187	0,274	0,250	0,222	0,224	0,239	0,26	—	—	—

1) F. Pockels, Wied. Ann. **39**. p. 440. 1890; Ann. d. Phys. **7**. p. 745. 1902; Ann. d. Phys. **9**. p. 220. 1902.

Für die drei letzten Körper ist kein eindeutiger Wert von μ angebbar; er hängt von der Zugrichtung ab. Da durch die Messungen von W. Voigt die drei Elasticitätskonstanten der drei Krystalle bekannt sind, liesse sich die Rechnung für gewisse Fälle leicht durchführen, doch sei darauf verzichtet. Es seien im folgenden nur die isotropen Gläser berücksichtigt. Es ergiebt sich:

Substanz:	O_{498}	S_{505}	O_{658}	2154	1571	500	S_{57}
$P-2\mu P'$	—0,598	—0,504	—0,526	—0,444	—0,324	—0,105	+0,51

Bis auf S_{57} ist also die massgebende Grösse $P-2\mu P'$ stets negativ. Im allgemeinen wird also in der Zugrichtung k kleiner. Da N ebenfalls kleiner wird, so wird die Änderung der Dielektricitätskonstante unbestimmt, d. h.

In Richtung des Zuges kann die Dielektricitätskonstante sowohl zu- als auch abnehmen.

Eine Ausnahme bildet das Glas S_{57}. Dieses hat die Zusammensetzung 82% PbO, 18% SiO_2, bezeichnet als „schwerstes Silikatflint“ (Dichte 6,335, Brechungsexponent 1,9625). Es hat nach den Versuchen von Herrn Pockels ein total abnormes Verhalten, insofern es die einzige homogene isotrope Substanz ist, die bei Zug negativ einaxig[1]) wird. Da für dieses Glas S_{57} die Grösse $P-2\mu P'$ positiv ist, so wird in der Zugrichtung k grösser. Man darf also für die Dielektricitätskonstante vermuten: *Bei Glas S_{57} wird die Dielektricitätskonstante in Richtung des Zuges kleiner.* Versuche hierüber liegen nicht vor.

1) F. Pockels, Phys. Zeitschrift 2. p. 693. 1901.

B. Änderung der Dielektricitätskonstante in der Richtung senkrecht zum Zug.

Es sei jetzt r die Richtung senkrecht zum Zug;

$$\delta_r = -\mu\delta. \quad \beta_{sr} = \frac{1}{A}\{(P-P')(-\mu\delta) + P'\delta(1-2\mu)\} = \frac{\delta}{A}[P'(1-\mu) - P\mu].$$

Das Vorzeichen von β_{sr} ist bestimmt durch dasjenige von $P'(1-\mu) - P\mu$. Aus den Zahlen der obigen Tabelle berechnet sich:

Substanz:	O_{438}	S_{205}	O_{658}	2154	1571	500	S_{57}
$P'(1-\mu) - P\mu$	+0,067	+0,123	+0,116	+0,136	+0,146	+0,147	+0,133

Bei allen untersuchten Glassorten wird also k senkrecht zur Zugrichtung grösser; es gilt mithin:

Die Dielektricitätskonstante wird senkrecht zur Zugrichtung kleiner.

In der That haben Wüllner und M. Wien bei ihren sehr sorgfältigen Versuchen an gezogenen Glasröhren eine kleine Verringerung der Dielektricitätskonstante in der Richtung senkrecht zum Zug gefunden.[1]) Nur bei einem von 7 Gläsern fanden sie eine Zunahme, die jedoch fast innerhalb der Grenzen der Versuchsfehler liegt.

Berechnung für den Fall $\mu = \frac{1}{2}$, $A = 0$.

Ist $\mu = \frac{1}{2}$, wie bei Kautschuk, Ebonit etc., so wird in Richtung des Zuges: $\beta_{sr} = \frac{\delta}{A}(P-P')$, in der Richtung senkrecht zum Zug: $\beta_{sr'} = \frac{\delta}{2A}(P'-P)$.

1) A. Wüllner und M. Wien, Ann. d. Phys. **11**. p. 619. 1903.

Nun sind die Grössen P und P' für solche Substanzen wie Kautschuk etc. noch nicht bekannt. Zur Kenntniss des Vorzeichens von $P - P'$ kann man jedoch folgendermassen gelangen:

Aus der Gleichung 31) der citirten Abhandlung von Herrn W. Voigt erhält man für den Fall $A = 0$:

$$n_1^2 - n^2 = -(P - P')\delta_1$$
$$n_2^2 - n^2 = -(P - P')\delta_2.$$

1 sei die Zugrichtung, 2 eine dazu senkrechte Richtung. Dann ist $\delta_2 = -\frac{\delta_1}{2} = -\frac{\delta}{2}$.

Es wird also $n_1^2 - n_2^2 = -\frac{1}{2}(P - P')\delta$.

Da nun eine Substanz durch Zug optisch positiv einaxig wird, ist $n_1^2 < n_2^2$, mithin muss $P - P'$ negativ sein. Hieraus ergiebt sich, dass die quasielastische Kraft in Richtung des Zuges kleiner, senkrecht dazu grösser wird.

Mithin folgt, da bei $\mu = \frac{1}{2} N$ konstant bleibt:

Bei Substanzen, für die $\mu = \frac{1}{2}$ ist, wird die Dielektricitätskonstante in der Zugrichtung grösser, in der Richtung senkrecht zum Zug kleiner.

Die Änderungen sind proportional der Dehnung und für die Zugrichtung doppelt so gross als in der dazu senkrechten Richtung. Die bisherigen Versuche an Kautschuk haben einander widersprechende Resultate ergeben.

O. Corbino und P. Canizzo,[1]) sowie Panichi[2]) finden eine Verminderung, Lampa[3]) eine Zunahme der Dielektricitätskonstante senkrecht zum Zug. Versuche, die Herr A. Eymer im hiesigen Institut angestellt und in seiner demnächst erscheinenden Dissertation beschrieben hat, haben selbst bei sehr

1) O. M. Corbino u. Canizzo. Acc. dei Lincei (5) 7. II. 286. 1898; Nuov. Cim. (4) 8. 311. 1898.

2) L. Panichi. Norov. Cim. (8) 8. 89. 1898.

3) A. Lampa, l. c.

starkem Zug keine merkliche (1,5 % überschreitende) Änderung der Dielektricitätskonstante ergeben. Es fanden sich nur Andeutungen dafür, dass die Dielektricitätskonstante senkrecht zur Zugrichtung kleiner, senkrecht zur Pressrichtung grösser wird, wie es die vorliegende Theorie verlangt.

Des weiteren sprach Herr F. A. Schulze:

Über einen Rechenschieber und eine Rechentafel zur Berechnung von Potenzen mit beliebigen Exponenten.

Rechnungen, in welchen Potenzen mit beliebigen, auch nicht ganzzahligen Exponenten auftreten, kommen so häufig vor, dass eine mechanische Vorrichtung zu ihrer Ausführung — in ähnlicher Weise, wie sie zur Berechnung von Produkten und Quotienten in dem bekannten Rechenschieber vorliegt, — nicht überflüssig sein dürfte (Beispielsweise sei hingewiesen auf die Gleichung der Polytrope $pv^n = \text{const}$, auf die Magnetisirungsformel für die Magnetisirung M eines Stahlstabes vom Durchmesser d durch einen Strom von der Stärke J, $M = C \cdot J^{4,8} \cdot d^{3/2}$, auf die Formel für die Hysteresisarbeit $A = \eta \cdot \mathfrak{B}^{1,6} \cdot 10^{-7}$ Erg, die Häckersche Tragformel für Magnete $T = 10{,}33\, P^{2/3}$, das Strahlungsgesetz $E = \dfrac{C}{\lambda^5\left(e^{\frac{c}{\lambda\vartheta}} - 1\right)}$, wie überhaupt alle Ausdrücke der Form e^x, Zinseszins- und Rentenrechnung, etc.)

Eine solche Vorrichtung, die in der Handhabung dem gewöhnlichen Rechenschieber ganz analog ist, ist kürzlich [1]) von der Firma John Davis and Son (Derby) nach einer bereits früher von mehreren Seiten angegebenen Idee ausgeführt worden. Wie bei dem für Produkte und Quotienten bestimmten Rechenschieber wird auch bei diesem die Rechenoperation zurückgeführt auf eine Addition. Es dient dazu die Formel:

1) $$\log [\log (a^b)] = \log b + \log [\log a].$$

1) Nature, 72. p. 45. 1905.

Demgemäss besteht dieser Rechenschieber aus zwei an einander verschiebbaren Skalen; die eine ist wie bei dem gewöhnlichen Rechenschieber, eine sog. logarithmische Skala, bei der der Abstand eines Punktes vom Nullpunkt gleich dem Logarithmus der am Endpunkt der Strecke angeschriebenen Zahl ist; die zweite Skala ist so beschaffen, dass der Abstand eines Punktes vom Nullpunkt gleich dem Logarithmus des Logarithmus der angeschriebenen Zahl ist. Man sieht leicht, wie man, ganz wie beim gewöhnlichen Rechenschieber für Produkte und Quotienten, hier durch Verschieben der beiden Skalen an einander nach Formel 1) Potenzen mit beliebigem Exponenten mechanisch berechnen kann. Die Handhabung dieses Rechenschiebers lässt an Einfachheit und Bequemlichkeit nichts zu wünschen übrig.

Ein Nachteil dieses Rechenschiebers dürfte jedoch vor allem darin liegen, dass auf der zweiten Skala Zahlen, die nahe an 1 liegen, nicht vorkommen, und auch nicht vorkommen können, da $\log [\log 1] = -\infty$ ist. Man ist also praktisch an eine gewisse Grenze gebunden, der Rechenschieber kann nicht bei 1, sondern erst bei einer Zahl in der Nähe von 1 anfangen. Ein fernerer, wenn auch nicht so bedeutender Nachteil liegt darin, dass die grossen Zahlen auf der zweiten Skala ganz ausserordentlich nahe zusammenrücken.

Es sei im folgenden ein Rechenschieber zur Berechnung von Potenzen mit beliebigem Exponenten beschrieben, der von dem ersten Nachteil im Princip frei ist, und den zweiten wenigstens nicht in dem Maasse besitzt wie die oben angegebene Form.

Im Prinzip schliesst er sich an an die Formel

$$2) \qquad \log (a^b) = b \log a.$$

Ist eine einfache logarithmische Skala, wie diejenige des gewöhnlichen Rechenschiebers gegeben, so erhält man die Zahl a^b, indem man vom Nullpunkt der Skala aus das b-fache derjenigen Strecke abmisst, die gleich $\log a$ ist. Diejenige Zahl der logarithmischen Skala, die am Endpunkt dieser neuen b mal längeren Strecke angeschrieben steht, ist dann die gesuchte Potenz a^b.

Um diese Vervielfachung in mechanischer Weise zu erreichen, kann man auf mehrfache Weise vorgehen. Man könnte die ver-

schiebbare logarithmische Skala eines gewöhnlichen Rechenschiebers dehnbar machen, also sie etwa auf ein Kautschukband auftragen. Der Anfangspunkt beider Skalen müsste stets zusammenfallen. Um a^b zu berechnen, hätte man diese dehnbare Skala auf die b-fache Länge zu dehnen, und abzulesen, welche Zahl auf der festen Skala an derjenigen Stelle steht, an der sich auf der dehnbaren Skala die Zahl a befindet. Oder man könnte eine der beiden logarithmischen Skalen eines gewöhnlichen Rechenschiebers, die beide denselben Anfangspunkt haben sollen, um diesen drehbar machen. Je nach dem Winkel, den die beiden Skalen mit einander bilden, trifft die in einem Punkt der festen Skala errichtete Senkrechte die andere drehbare Skala in einem Punkt, der von dem Anfangspunkt ein gewisses Vielfaches weiter entfernt ist, als der Punkt der festen Skala.

Zur praktischen Ausführung eignet sich wohl am besten folgendes Verfahren: (siehe die schematische Fig. 1) Man denke sich den „Schieber“ des gewöhnlichen Rechenschiebers, der die verschiebbare logarithmische Skala trägt, breiter gebaut wie gewöhnlich. Auf dem die feste logarithmische Skala AB tragenden Grundbrett sei senkrecht unter A im Punkte D der Drehpunkt eines „Zeigers“ Z. Auf dem linken Rand des Schiebers S sei nun eine Skala t_1 angebracht. Die an dieser Skala t_1 stehenden Zahlen geben an, wie viel mal grösser die Strecke AD ist, als der senkrechte Abstand des betreffenden Skalenpunktes von der durch den Drehpunkt D zu AB Parallelen. Man kann dann mechanisch eine Strecke AG der festen logarithmischen Skala auf das b-fache verlängern, indem man den Schieber S so verschiebt, dass der Anfangspunkt der Skala t_1 direkt unter G steht, und dann den Zeiger Z so dreht, dass er auf der Skala t_1 die Zahl b trifft. Der Zeiger Z trifft dann die feste logarithmische Skala in einem Punkte E, der vom Anfangspunkte A b mal weiter entfernt ist als der Punkt G. Diejenige Zahl der festen logarithmischen Skala, die an dem Punkt E steht, ist also die gesuchte Zahl a^b. Die Richtigkeit erhellt aus der Proportion:

$$\frac{AE}{AG} = \frac{DF}{DC} = \frac{EF}{JC} = \frac{GC}{CJ} = b.$$

Die Skala t_1 erhält nur Zahlen über 1. Für den Fall $b < 1$ ist auf der rechten Kante des Schiebers eine zweite Skala t_2 angebracht. Die an dieser Skala stehenden Zahlen geben an, welcher Bruchteil der ganzen Strecke DA diejenige Strecke ist, die zwischen dem unteren zu AB parallelen Rand des Schiebers und dem betreffenden Skalenpunkt liegt. t_2 enthält also die Zahlen zwischen 0 und 1. Es ist leicht zu sehen, wie in diesem Fall die Berechnung von a^b zu geschehen hat.

In der bisher geschilderten Form, in der die Ziffer 1 im Punkte A direkt 1, die nach rechts folgenden Ziffern 1 der logarithmischen Skala der Reihe nach 10, 100, 1000 etc. bedeuten, muss $a > 1$ sein. Um den Rechenschieber auch für die Fälle gebrauchen zu können, in denen $a < 1$ ist, ist für den Zeiger Z noch ein zweiter Drehpunkt senkrecht unter der am weitesten rechts stehenden Ziffer 1 der festen logarithmischen Skala vorgesehen, im Punkte K; dabei ist $BK = AD$. Es bedeutet dann die senkrecht über K liegende Ziffer 1 der festen logarithmischen Skala direkt 1, die nach links folgenden Ziffern 1 der Reihe nach 0,1; 0,01; etc. Die Handhabung ist im einzelnen so analog dem ersten Fall, dass eine genauere Beschreibung nicht erforderlich sein dürfte.

Enthält der Schieber S noch eine logarithmische Skala direkt unter AB, so ist der Rechenschieber auch in gewöhnlicher Weise zur Berechnung von Produkten und Quotienten zu gebrauchen; ferner wird dann das Intervall, bis zu dem eine Berechnung von Potenzen erfolgen kann, noch wesentlich erweitert.

Das dem beschriebenen Rechenschieber zu Grunde liegende Prinzip lässt sich auch zur Konstruktion einer sehr einfachen Rechentafel zur Berechnung von Potenzen mit beliebigen Exponenten verwenden. Es sei (s. die schematische Fig. 2) wieder AB eine logarithmische Skala. Die Skala AC, die auf AB in A senkrecht steht, entspricht der vorher mit t_1 bezeichneten Skala, und ist ebenso geteilt wie diese. Durch die Teilpunkte der Skala AB sind Parallelen zu AC,

durch die Teilpunkte der Skala AC Parallelen zu AB gezogen. Ferner sind noch vom Punkte C die schrägen graden Verbindungslinien nach den Teilpunkten der Skala AB gezogen.

Ist a^b zu berechnen, so geht man vom Punkte a der Skala AB senkrecht parallel zu AC hinunter bis zu der durch den Punkt b der Skala AC gehenden Parallelen zu AB. Von diesem Schnittpunkt geht man dann auf der schrägen durch C gehenden Linie zu der Skala AB hinauf. Der Punkt der logarithmischen Skala AB, zu dem man so geführt wird, ist a^b. (In der schematischen Fig. 2 ist dies an der gestrichelten Linie durch Pfeile an dem Beispiel $2{,}3^{1{,}5}$ erläutert.)

Die Skala t_2 für Exponenten b, die kleiner als 1 sind, ist in leicht ersichtlicher Weise mit der Skala t_1 vereinigt. Für Grundzahlen a, die kleiner als 1 sind, ist das Dreieck BDC bestimmt. Aus dem wieder durch gestrichelte Linien und Pfeile gekennzeichneten Beispiel $0{,}15^{0{,}75}$ wird das Verfahren ohne lange Beschreibung erkennbar sein.

Die Berechnung von Wurzeln lässt sich natürlich immer auf die Berechnung von Potenzen zurückführen.

Übrigens lässt sich nach demselben Prinzip auch eine Rechentafel zur Berechnung von Produkten und Quotienten konstruiren.

Man trägt dazu auf AB (siehe die schematische Figur 3) eine gewöhnliche von 0 bis 10 reichende Skala auf; ebenso auf der dazu senkrechten Linie CA eine ebenfalls von 0 bis 10 reichende gewöhnliche gleichmässige Skala, wobei 0 in C, 10 in A steht. Ferner zieht man durch die Teilpunkte der beiden Skalen die Parallelen zu AB bzw. AC, sowie von C aus die schrägen Verbindungslinien zu den Punkten der Skala AB.

Um das Produkt $p \cdot q$ zu berechnen, geht man auf der Skala AB vom Punkte p aus — wobei man das Komma hinter der ersten Ziffer annimmt, — auf der schrägen zu C führenden Linie, bis man zu derjenigen Parallelen zu AB kommt, die durch den Punkt q der Skala AC geht. Von diesem Schnittpunkt aus geht man dann auf der zur Skala AC Parallelen

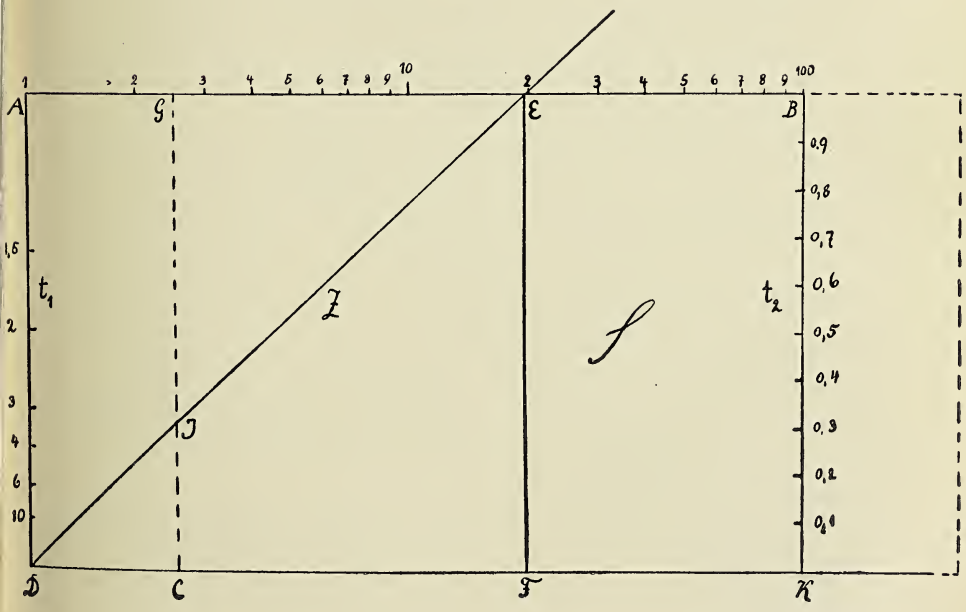
hinauf bis zur Skala AB. Der so gefundene Punkt gibt das Produkt pq — natürlich nur bis auf das Komma, dessen Stelle besonders zu ermitteln ist.

Dass das Verfahren richtig ist, sieht man am einfachsten, wenn man sich auf der Skala AC anstatt der Zahlen 1 bis 9 die Zahlen 0,1 bis 0,9 angeschrieben denkt.

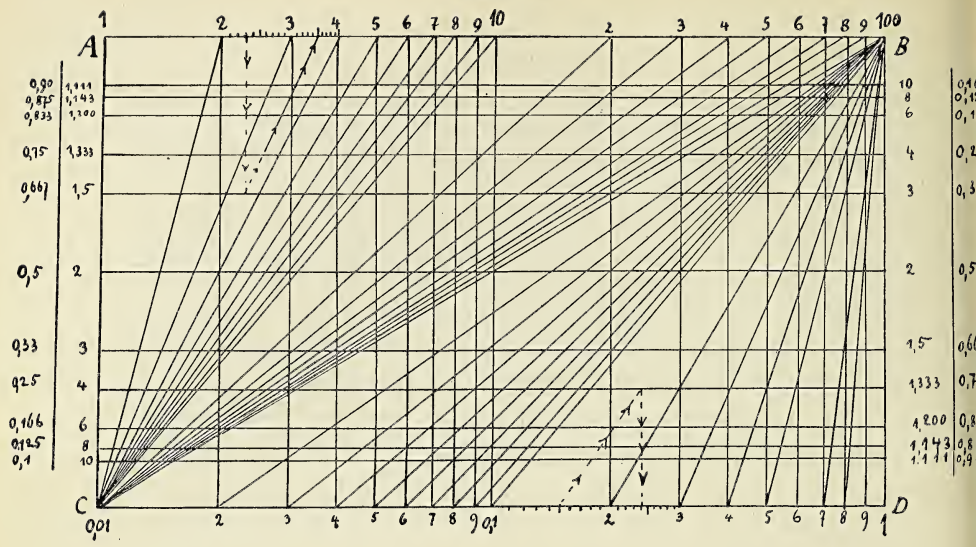
In Fig. 3 ist das Verfahren wieder durch die gestrichelte Linie und Pfeile an dem Beispiel 625×77 erläutert.

Im Interesse der Deutlichkeit sind in Fig. 2 und 3 nur einige orientirende Linien gezeichnet.

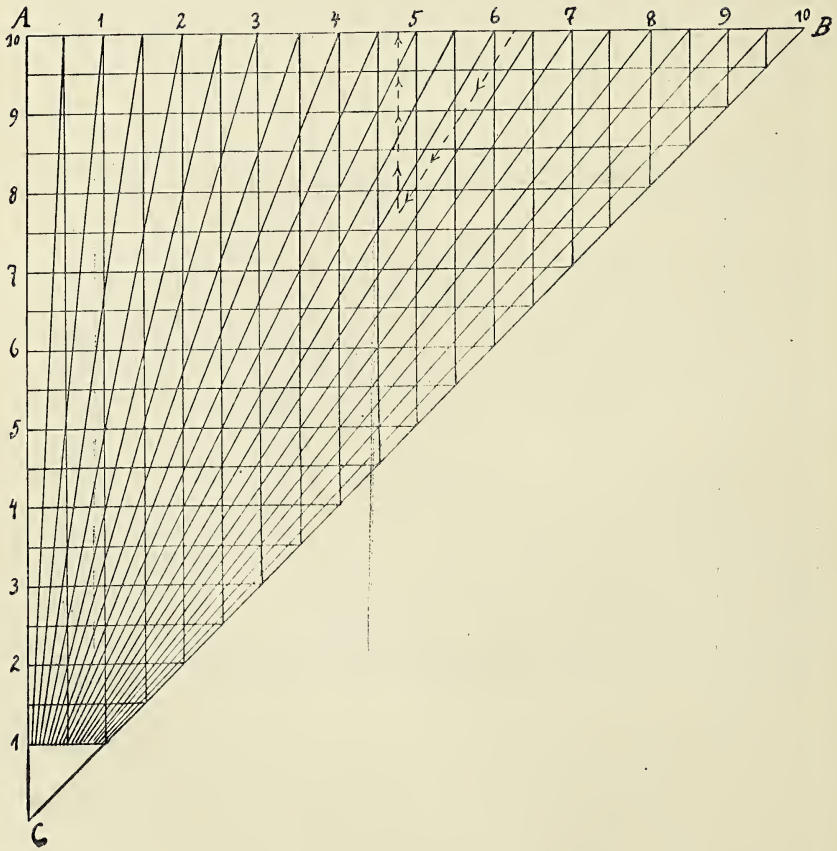
Figur 1.



Figur 2.



Figur 3.



Aufgelegte Schriften:

Jahresber. d. Naturw. Vereins in Elberfeld. 11. Heft. Elberfeld 1906.

Beilage hierzu: Bericht über die Tätigkeit des chem. Untersuchungsamtes d. Stadt Elberfeld. Elberfeld 1906.

Schriften der Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg. i. Pr. 46. Jahrg. 1905. Königsberg 1906.

Verhandlungen des botan. Vereins der Provinz Brandenburg 47. Jahrg. 1905. Berlin 1906.

Sitzungsberichte der physikal.-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg 1905 Nr. 1 bis 9.

Sitzungsberichte und Abhandlungen der naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden Juli—Dez. 1905. Dresden 1906.

Abhandlungen herausgeg. v. naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen XVIII. Bd. 2. Heft. Bremen 1906.

Verhandlungen der K. K. geolog. Reichsanstalt 1906 Nr. 2—4. Wien 1906.

Annalen des K. K. naturhist. Hofmuseums Wien 1905 XX. Bd. Heft 1. 1905.

Jahrbuch des Ungarischen Karpathen-Vereins XXXIII. Jahrg. 1906. Iglo 1906.

Sitzungsberichte d. medicinisch-naturwissensch. Section d. Siebenbürgischen (Erdélger) Museums-Vereins.

— XXIX. Jahrg. 1904 XXVI. Bd. I. medicinische Abteilung II.—III. Heft.

— XXX. Jahrg. 1905 XXVII. Bd. I. medicinische Abteilung I.—III. Heft.

— XXX. Jahrg. 1905 XXVII. Bd. II. naturwissenschaftliche Abteilung I.—II., III. Heft.

Arkiv för Matematik, Astronomi och Fysik utg. af k. Svenska Vetenskabsakademien i. Stockholm Bd. 2 Hälfte 3—4. Stockholm 1905—1906.

Arkiv för Botanik utg. af k. Sevenska Vetenskabsakademien in Stockholm Bd. 5 Hälfte 3—4. Stockholm 1906.

Archives du musée Teyler Ser. II Vol. X 1. Partie. Harlem 1905.

Bulletin de les Société geologique de Belgique, Table des motiéres du tome XXXII. Liége 1906.

Atti della reale accademia dei lincei. Rendiconti Vol. XV Fasc. 7, 8. Roma 1906.

Annali della facoltà di medicina, Università di Perugia 1904 Sw. III Vel. IV Fasc. 1—3, 4. Perugia 1904, 1906.

Bulletin de la société impériale des naturalistes de Moscou 1905 No. 1—3. Moscou 1906.

Annotationes Zoologicae Japonenses Vol. V Part. V. Tokyo 1906.

Boletin del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú No 30—34. Lima 1905.

Parergones del Instituto Geologico de Mexico. Tomo I, No. 10. Mexico 1906.

U. St. Geological Survey.

— Atlas to acc. monograph XXXII on the geology of the Yellowstone Park. Washington 1904.

— Mineral resources of the U. St. 1904. „ 1905.

— Professional Paper No. 43. „ 1905.

— 26. annual report of the Director 1904—5. „ 1905.

— Bulletin No. 265, 272—274. „ 1905.

— Walter-Supply Paper No. 148, 150.

Proceedings of the American Philosophical Society Vol XLIV No. 181. Philadelphia 1906.

Trausactions of the American Philosophical Society Vol. XXI Part. II Art. II. Philadelphia 1906.

The American Naturalist Vol. XL No. 473. Boston 1906.

Bulletin of the New-York Public Library Vol. X No. 5. New-York 1906.

Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences Vol. XLI No. 20—29.

Bulletin of the Scientific Laboratories of Denison University Vol. XIII Art. II. Granville, Ohio 1905.

Ohio State University, Bulletin Vol. X No. 1. 1905 3.

— Bulletin Vol. X Suppl. to num. 5. 1906.

Memoirs and Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society 1905—1906. Manchester 1906.

Leopoldina 1906 Mai No. 5.

Sitzungsberichte

der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Nr. 7 **Juli** **1906**

In der ausserordentlichen Sitzung vom 25. Juli 1906 sprach Herr Herm. Schridde:

Über die Basalmembran der menschlichen Epidermis.

Seit den Untersuchungen von Todd und Bowman, welche auch für die Epidermis eine Grenzhaut annahmen, ist der Streit über die Existenz dieser Membram nicht zur Ruhe gekommen. Ranvier [1]) tritt gleichfalls auf Grund seiner Befunde unbedingt für das Vorhandensein einer Basalmembran ein. Nach Mazeration der Haut in Jodserum und Ablösung der Epidermis fand er, dass die Oberfläche der wie gezähnt erscheinenden Papillen „von einer dünnen, strukturlosen Membran bekleidet“ war. Demgegenüber stellt Unna [2]) den Satz auf: eine Basalmembran existirt nicht, eine Ansicht, der früher auch Kölliker schon Ausdruck gegeben. Unna beschreibt wohl „eine durchsichtige Substanz, welche den ganzen Papillarkörper in minimaler Dicke überzieht“; er ist jedoch der Ansicht, dass von dem Vorhandensein einer Membran nicht die Rede sein könne, weil nirgend wo an dieser Substanz doppelte Conturen zu erkennen seien.

---

1) L. Ranvier. Technisches Lehrbuch der Histologie. Leipzig 1888.

2) P. G. Unna. Entwicklungsgeschichte und Anatomie der Haut. Ziemssens Pathol. und Therapie 1883.

In der Folgezeit erschienen dann verschiedene Arbeiten, welche sich wieder für die Existenz der fraglichen Grenzhaut aussprachen, so von Nékam,[1]) Kromayer[2]) und Merk.[3]) Nach den Angaben Kromayers ist die Grenzschicht „verschieden stark, von etwa ein Viertel der Dicke eines Epithelzellenkernes und darüber nach abwärts schwankend bis zur Grenze der deutlichen Wahrnehmbarkeit. Diese Grenzschicht vermittelt nach Kromayer den Zusammenhang von Epithel und Bindegewebe: in sie inserieren die fibrillären Bindegewebsfasern, in ihr haften die Zylinderzellen fest. Die Zylinderzellen senken protoplasmatische Fortsätze in diese Grenzschicht, die indessen nicht scharf von ihr abgesetzt sind, sondern kontinuierlich mit verwaschener Grenze in sie übergehen.“

Merk schildert einen Basalsaum mit mehr oder minder deutlicher Streifung. Als besonders wichtig betrachtet dieser Autor einen Befund, bei dem er losgelöste Basalzellen konstatieren konnte, von denen jeder einzelnen „ein ganz besonders deutlich gestreiftes Stück des Basalsaumes zufiel.“

Auch diese letzterwähnten Arbeiten haben bisher keine Anerkennung gefunden, wie das vor kurzem Stöhr[4]) noch betont hat. Aus meinen unten folgenden Ausführungen wird auch hervorgehen, dass die Befunde dieser Autoren in keinem Falle einwandsfrei sind. Dass der Streit in der vorliegenden Frage bis heute noch nicht zu Ende gekommen ist, liegt meiner Ansicht nach allein darin begründet, dass bisher Tinktionsmethoden fehlten, mit denen eine präzise Demonstration einer solchen Basalmembran gelingt.

---

1) Nékam. Quelques considérationes sur la disposition et la fonction des fibres élastiques. Ann. de dermat. et de syphil. T. VI. 1895.

2) E. Kromayer. Die Parenchymhaut und ihre Erkrankungen. Archiv f. Entwicklungsmechanik der Organismen. Bd. VIII. 1899. S. 273.

3) L. Merk. Experimentelles zur Biologie der menschlichen Haut. Sitzungsber. der Akademie der Wissenschaften zu Wien. Bd. 108. 1899. Abt. III.

4) Ph. Stöhr. Entwicklungsgeschichte des menschlichen Wollhaares. Anatom. Hefte Bd. XXIII. 1904.

Der Zufall lehrte mich nun ein Verfahren kennen, das in hervorragender, sehr distinkter Weise die Basalmembram der menschlichen Epidermis zur Darstellung bringt. Bei meinen Untersuchungen über das Vorkommen der Spirochaete pallida in syphilitischen Organen,[1]) welche ich mit Hülfe der von Levaditi modifizierten Ramon y Cajalschen Methode anstellte, sah ich zum ersten Male an Schnitten durch die Haut eines Neugeborenen die Basalmembran in präzisester Weise zur Anschauung gebracht.

Ich habe die eben genannte Methode in folgender Weise angewandt: Die Gewebsstückchen werden in einer Formollösung (9 Teile Wasser, 1 Teil Formol) fixiert, dann gewässert und weiter in 70% bis 90% Alkohol gebracht. Hierauf werden die in ca. 2 mm dünne Scheiben zerlegten Präparate auf kurze Zeit in destilliertes Wasser getan, bis sie untersinken, und nunmehr im Brütofen bei Lichtabschluss auf sechs Tage in eine 2% Argentumnitricum-Lösung gelegt. Nach darauf folgendem, gründlichen Auswaschen werden dann die Stückchen ebenfalls im Dunkeln vier Tage mit einer Pyrogallussäurelösung (Acid. pyrogall. 4 ccm, Formol 5 ccm, Aq. dest. 100 ccm) behandelt und schliesslich nach sorgfältigem Wässern durch die Alkohole steigender Conzentration und durch Toluol oder Xylol in Paraffin überführt. Die Paraffinschnitte, welche in einer Dicke von 0,005 mm hergestellt werden, werden ohne Gegenfärbung untersucht.

Meine auf Grund dieser Methode gewonnenen Befunde sind in zusammenfassender Weise dargestellt folgende. Der Grundton der Präparate ist ein helles Gelb-Braun. Sowohl das Epithel wie auch das Bindegewebe weisen diesen Farbenton auf, der nur an den Kernen in einer leicht dunkleren Nüance hervortritt. Schon bei schwacher Vergrösserung erkennt man, wie das Pflasterepithel in sehr scharfer Weise abgegrenzt ist vom darunter liegenden Corium durch eine tiefdunkle, fast wie mit schwarzer

1) Herm. Schridde, Spirochaetenbefunde in Organen und ihre Verwertung für die Diagnose und den Infektionsmodus der Syphilis. — Sitzungsberichte des ärztl. Vereins zu Marburg. 18. Juli 1906. Münch. med. Wchschr. 1906.

Tinte gezogene Linie. Die Linie folgt überall gleichmässig der feingezähnten Oberfläche der Lederhaut und überzieht kontinuirlich die Papillen des Coriums.

Bei Betrachtung mit homogener Immersion erscheint die Linie mehr in einem dunkelbraunen Tone. Sie ist sehr scharf abgehoben und begrenzt, sowohl nach dem Epithel wie auch nach dem Corium zu. Sie stellt sich wie ein feines, gleichmässiges Band dar, dessen Breite — um ein im Präparate befindliches Vergleichsobjekt zu nehmen — ungefähr dem halben Durchmesser eines Kernkörperchens der Epithelzellen entspricht. Eine Verdickung ist an keiner Stelle wahrzunehmen, weder sieht man auf grössere Strecken hin sich verbreiternde Partieen noch auch kleine oder knopfförmige Verdickungen. Eine feinere Struktur, vielleicht also eine Strichelung, von der Merk spricht, oder derartiges, habe ich auch an den feinsten Schnitten nicht finden können.

Der Verlauf der dunkelbraunen Linie entspricht ganz und gar dem Contur der wurzelförmigen Protoplasmaausläufer der Basalzellen, über welche ich schon an anderer Stelle [1]) berichtet habe. Dementsprechend sehen wir bei zum Corium senkrecht gerichteter Schnittführung in den Präparaten einen sehr fein und zierlich gezackten Verlauf. Das dunkle Band legt sich immer, sich wieder und wieder faltend, den Basalzellenwurzeln an. Jedoch reichen die nach oben gerichteten Schleifen niemals höher hinauf als bis zu der Stelle, an welcher die Auffaserung der Basalzellen in ihre wurzelförmigen Fortsätze beginnt. Niemals dringen irgend welche Fortsätze der dunkelbraunen Linie zwischen die Zellen in die Interzellularräume ein.

Besonders lehrreich und instruktiv sind die Bilder, welche man an Schrägschnitten gewinnt. Hier erscheint am Grunde der Epidermis ein feines, aus braunschwarz gefärbten Maschen gewirktes Netz, durch welches oft einzelne Kerne von Basal-

1) Herm. Schridde, Die Protoplasmafasern der menschlichen Epidermiszellen. Archiv für mikr. Anatomie. Bd. 67. 1905.

zellen hindurchschimmern. Die einzelnen Fäden dieses Netzwerkes sind von gleicher Breite wie die oben beschriebene Linie und weisen, soweit sich das mit unseren Hilfsmitteln überhaupt konstatieren lässt, niemals Unterbrechungen auf.

Am besten wird man sich an der Hand der Zeichnungen, die möglichst naturgetreu ausgeführt sind, ein Bild davon machen, was meine Worte schildern sollen.

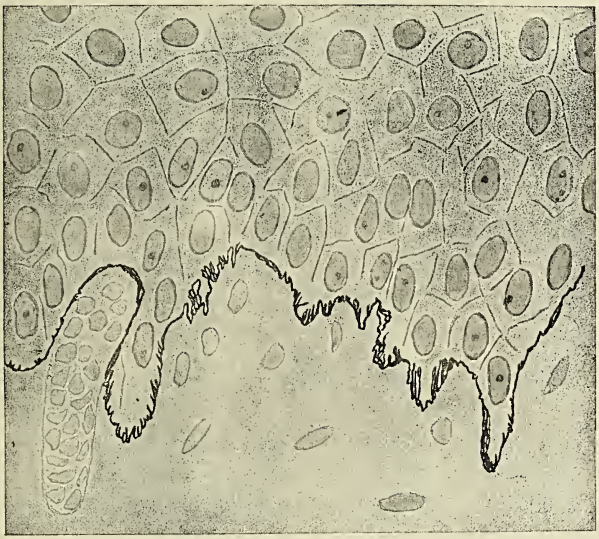


Fig. 1. Senkrechter Schnitt durch die Haut. Untere Epithellagen der Epidermis. Basalmembran. Coriumpapillen mit Capillare.

Fig. 2. Schrägschnitt durch die Basalmembran.

Aus den Abbildungen kann man auch leicht herauslesen, wie wir die Basalmembran uns körperlich vorzustellen haben. Ein Vergleich wird vielleicht am ehesten ein Verständnis für

die hier vorliegenden Formationen bringen. Wie man Pflanzen in den Boden pflanzt, so sind hier die Basalzellen mit ihrem wurzelförmigem Basalabschnitte in das Corium eingesenkt. Zwischen diese Protoplasmawurzeln und das Corium mit seinen zahllosen, feinen trichterförmigen Grübchen, in welche diese Wurzeln sich hineinsenken, ist nun in gleichmässiger Weise eine Masse ausgegossen, welche Oberfläche und Gruben der Lederhaut bedeckt und dadurch Corium und Epidermis trennt. Das ist die feine Basalmembran, welche in den Schnitten als dunkelbraune Linie erscheint. Die zuerst geschilderten, senkrecht zum Corium gerichteten Schnitte zeigen uns also die Grübchen mit der sie auskleidenden Membran in Seitenansicht (Fig. 1), während das beschriebene Netzwerk Querschnitte der Grübchen darstellt. Die Maschen dieses Netzes schliessen also hier die ebenfalls quergetroffenen Protoplasmawurzeln ein (Fig. 2).

Wir haben also nach meinen Untersuchungen nunmehr mit Sicherheit eine allerdings sehr dünne Basalmembran der menschlichen Epidermis anzunehmen. Dass es sich mit Bestimmtheit um eine Membran und nicht um eine Kittsubstanz handelt, geht daraus hervor, dass sowohl nach der Epidermis wie auch nach dem Corium zu ein scharfer Contur vorhanden ist, und dass der Querschnitt dieses Gebildes immer absolut gleichbreit ist und niemals Unregelmässigkeiten und Verdickungen und Verbreiterungen erkennen lässt. Weiter spricht für diese Annahme der Umstand, dass nur zwischen Corium und den Wurzeln der Basalzellen der Epidermis das geschilderte Gebilde vorhanden ist, während ähnlich oder gar gleich gefärbte Elemente sich niemals weder zwischen den Epithelien noch im Bindegewebe finden. Dass sich in dieser Membran viele kleine Lücken befinden, wie das Kromayer vermutet, ist sehr wahrscheinlich, wenn ich auch keinen derartig zu deutenden Befund erheben konnte. Es mag das aber an der hierfür unzureichenden Ausbildung unserer Hilfsmittel gelegen sein.

Zum Schlusse möchte ich noch kurz die Frage berühren, ob die Basalmembran den Epithelien oder dem Corium ihren

Ursprung verdankt. Zu einem endgültigen Schlusse bin ich nicht gekommen. Jedoch habe ich einige Bilder gesehen, welche in gewisser Weise vielleicht einen Hinweis geben. Ich habe bei Pemphigusblasen des mehrfachen eine alleinige vollkommene Zerstörung des Epithels durch Leukocyten beobachtet. Während hier nun sämtliche Schichten der Epidermis zerstört waren, lag an vielen Stellen Corium mit darauf befindlicher Basalmembran unverletzt und unverändert da. Wenn diese Bilder an sich auch nichts für die Herkunft der Membran beweisen, so lehren sie doch, dass die Basalmembran fester am Bindegewebe haftet als am Epithel und daher auch innigere Beziehungen zum Corium haben muss als zur Epidermis.

Den Nachweis einer Basalmembran der Epidermis, wie ich ihn im Vorstehenden erbracht zu haben glaube, halte ich nicht nur für wertvoll für histologische und entwickelungsgeschichtliche Fragen, ich hege vielmehr die Hoffnung, dass diese Basalmembran der Epidermis auch für die pathologische Anatomie von Bedeutung ist. Vielleicht gelingt es auf Grund der präcisen Darstellung dieser Membran, endlich auf die Fragen nach dem ersten Beginne der Epidermis-Carcinome und nach der Genese der Nävi eine sichere Antwort zu geben. Ich hoffe über Untersuchungen auf diesem Gebiete später berichten zu können.

Sodann sprach Herr Römer (nach gemeinschaftlichen Versuchen mit Dr. Much) über

Milch unter dem Einfluss des Lichtes.

In den Beiträgen zur Klinik der Tuberkulose Bd. V haben Much und ich über ein Verfahren berichtet, das es ermöglicht eine Milch zu gewinnen, die sich von Rohmilch im wesentlichen nur dadurch unterscheidet, dass sie frei ist von Bakterien, besonders von Tuberkelbazillen. Wir stellen die Milch in der Weise her, dass wir sie unter Wasserstoffsuperoxyd auffangen und nach be-

stimmter Einwirkungsdauer das Wasserstoffsuperoxyd durch eine stark wirksame, organische lösliche Katalase aus der Milch wieder entfernen. Praktisch sehr bedeutsam ist, dass diese Milch, die wir, weil sie das Produkt einer Kombination von Perhydrol- und Katalasebehandlung ist, „Perhydrasemilch" nennen, auch den normalen Rohmilch-Geschmack besitzt.

Wir gaben aber schon in unserer genannten Publikation an, dass die Perhydrasemilch diesen Rohmilchgeschmack nur dann behält, wenn man sie vor Licht schützt. Wir glaubten anfangs hier eine besondere Eigenschaft der Perhydrasemilch vor uns zu haben, aber es zeigte sich bald, dass auch jede andere Milch und zwar Rohmilch sowohl als auch pasteurisierte und sterilisierte Milch, welchen Bezugsquellen sie auch entnommen war, im Lichte verdarb, wobei noch besonders hervorgehoben werden soll, dass auch vollkommen sterilisierte, bakterienfreie Milch sich unter Lichteinfluss zersetzte. Die Zersetzung ist sehr leicht zu erkennen. Die normale, leicht gelbliche Farbe der Milch wird in eine mehr weisse Farbe mit einem leichten Stich in rosa verwandelt; Geruch und Geschmack werden sehr unangenehm und ekelerregend.

I.

Wir studierten sodann genauer die Bedingungen, unter denen diese Milchverderbnis eintritt.

Am Nachmittag des 25. V. 1906 stellten wir mehrere Proben von Perhydrasemilch in watteverschlossenen Kölbchen im Dunkeln und im Lichte auf. Es schien während des Nachmittags die Sonne. Am folgenden Tage schmeckte die im Licht aufbewahrte Probe schlecht. Die im Dunkeln gehaltene Milch schmeckte noch am 15. VI. tadellos. Es ging also hieraus hervor, dass der Zutritt von Sauerstoff (oder Luft) allein nicht genügt, den Geschmack der Milch in der von uns beobachteten Zeit zu verändern. Dahingegen genügte die gleichzeitige Bestrahlung von nur einigen Stunden, um die Milch schlechtschmeckend zu machen. Anwesenheit von Sauerstoff und Licht schien demnach hierfür notwendig zu sein.

Wir untersuchten, ob schon das Licht allein im Stande ist, die Geschmacksveränderung hervorzurufen; wir stellten daher folgende Versuche an:

Am 27. V. setzten wir verschiedene Proben sterilisierter Milch ins Sonnenlicht, nachdem wir aus der einen Flasche die Luft durch eine Wasserstrahlluftpumpe abgesaugt hatten; eine zweite stellten wir zur Kontrolle, von einer Glasglocke überdeckt, daneben. Bei einer dritten Probe war die Luft durch Kohlensäure verdrängt worden. Eine so behandelte Milch erhält schon durch das Einleiten der Kohlensäure einen etwas veränderten Geschmack.

Der Geschmack der Kohlensäure- und Vacuum-Milch war nach 3 Stunden absolut normal, die Kontrollprobe war vollkommen verdorben.

Am 29. V. stellten wir 2 Milchproben ins Sonnenlicht; bei der einen war die Luft durch Wasserstoff verdrängt. Die Kontrollprobe schmeckte nach 4 Stunden schlecht. Die mit Wasserstoff behandelte Probe wurde nach 2 Tagen geöffnet und war, trotzdem sie tagsüber im Sonnenlicht gestanden hatte, unverändert im Geschmack. Dadurch war nachgewiesen, dass nur gleichzeitige Einwirkung von Sauerstoff und Licht das geschilderte Phaenomen erzeugt.

Weiterhin trockneten wir eine Perhydrasemilch bei 52° im Vakuumapparat. Diese so gewonnene fein pulverisierte Milch wurde teils im Sonnenlicht, teils im Dunkeln aufbewahrt. Nach einem Tage zeigte das im Hellen aufbewahrte Pulver einen widerlichen Geruch und Geschmack. Die im Dunkeln aufbewahrte Probe schmeckte unverändert.

Endlich sei noch folgender Versuch erwähnt: Am 26. VI. setzten wir ein Kölbchen mit sterilisierter Milch in ein Glasgefäss, das mit Eiswasser gefüllt war. Für die stetige Erneuerung des Eises wurde Sorge getragen. Ein anderes Kölbchen wurde in ein Glasgefäss mit Leitungswasser gestellt, ein drittes (Kontrollkölbchen) endlich ohne Wasser daneben gestellt. Die Resultate waren bei der nach 1 Stunde vorgenommenen Geschmacks- und Geruchsprüfung folgende:

Kontrollkölbchen — sehr schlecht
Kölbchen in Wasser — schlecht
Kölbchen in Eiswasser — schlecht.

Das Kölbchen in Eiswasser schmeckt und riecht noch etwas schlechter als das Kölbchen in Leitungswasser. Dass die mit Wasser umgebenen Proben nach 1 Stunde noch nicht so schlecht sind, wie die Kontrollprobe, beruht wohl auf der Absorption des Lichtes durch Glas und Wasser. Nach 4 Stunden ist kein Unterschied mehr zu der Kontrolle.

Es kam uns nun darauf an, festzustellen, welche Mindestdauer der Belichtung für die erkennbare Zersetzung der Milch nötig ist. Am 8. VI. 1906 stellten wir eine Perhydrasemilch ins direkte Sonnenlicht, eine andere ins zerstreute Tageslicht, eine dritte ins Dunkle. Die dem Sonnenlicht ausgesetzte Milch zeigt schon nach 10 Min. beginnende Geschmacks- und Geruchsveränderung. Nach 20 Minuten riecht und schmeckt sie vollkommen schlecht. Die im zerstreuten Tageslicht aufbewahrte Milch zeigt am fünften Tage den Geschmacksumschlag. Die Milch im Dunkeln ist noch nach 14 Tagen unverändert.

Wir konnten das schnelle Eintreten der Milchveränderung in zahlreichen Versuchen bestätigen. Es genügte in der Regel eine halbe Stunde, um das Phänomen erscheinen zu lassen. Dabei war es, was die Schnelligkeit des Eintritts der Geschmacksveränderung betrifft, nicht absolut gleichgültig, ob die Milch von verschiedenen Kühen stammte oder ob sie verschiedenen Bezugsquellen entnommen war. Die Gründe für diese zeitlichen Differenzen wurden bisher noch nicht untersucht.

Wir hatten unsere bisher geschilderten Laboratoriumsversuche meistens in Erlenmeyer'schen Kölbchen mit Watteverschluss angestellt. Hier hatte also die Luft ungehindert Zutritt. Wir legten uns deshalb die Frage vor, ob der in einer Milchflasche, wie sie in der Praxis, im Milchhandel, gebraucht wird, vor-

handene Sauerstoff, wenn also die Flasche fast bis oben gefüllt und dann luftdicht verschlossen ist, genügt, um unter der Einwirkung des Lichtes die gleiche Milchveränderung zu bewirken.

Wir stellten deshalb am 27. VI. Milchflaschen mit luftdichtem Verschluss ins Sonnenlicht, nachdem wir vorher die eine ganz, die andere zu $^3/_4$, die dritte halb, die vierte zu $^1/_4$ mit Milch beschickt hatten. Nach einer Stunde wurden die Flaschen geöffnet. Es waren alle 4 Proben dem Geruch und Geschmack nach gleichmässig verändert.

Es schien uns nun nicht unwesentlich, festzustellen, durch welche Strahlenarten diese schnelle Veränderung der Milch bewirkt wird. Wir stellten deshalb mehrere Versuche an, in denen wir Flaschen von verschiedener Farbe mit Milch gefüllt dem Sonnenlicht aussetzten.

In Flaschen aus weissem Glas, in Quarzkölbchen und in Flaschen aus blauem Glas trat sehr rasch die Zersetzung ein, in gelben Flaschen wurde sie etwas verzögert, in roten und grünen Flaschen blieb sie auch bei tagelangem Stehen im Sonnenlicht aus. Umhüllungen von weissen Milchflaschen mit farbigem Seidenpapier ergaben diesen Versuchen entsprechende Resultate. Grünes und rotes Papier schützte vollkommen vor der Zersetzung, während blaues, weisses und gelbes Papier den zeitlichen Eintritt der Zersetzung nur hinausschob.

Wir haben endlich noch Versuche mit reinem ultraviolettem Licht gemacht. In einem Quarzkölbchen setzten wir sterilisierte Milch dem Lichte einer von Herrn Privatdozenten Dr. Ach uns freundlichst überlassenen Quarz-Quecksilberbogenlampe aus. Nach 10 Minuten war die Geruchs- und Geschmacksveränderung der Milch schon deutlich, während eine in gewöhnlichem Glaskölbchen daneben aufgestellte Milchprobe in Geruch und Geschmack unverändert geblieben war.

Da man neuerdings vorschlägt, Milch durch ultraviolettes Licht zu sterilisieren, muss die geschilderte zersetzende Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Milch wohl beachtet werden. Wie aus obigen Daten hervorgeht, vermögen aber auch die sichtbaren Strahlen (blau und violett) das Milchfett zu zersetzen. Da die Lichtwirkung höchst wahrscheinlich auf eine Aktivierung des von der Milch absorbierten Sauerstoffs beruht, erscheint uns die Beobachtung, dass auch sichtbare Strahlen Sauerstoff aktivieren können, nach der theoretischen Seite hin sehr bedeutungsvoll.

II.

Nachdem durch vorstehende Versuche erwiesen war, dass Licht und Sauerstoff — und zwar lediglich diese — die geschilderte Milchzersetzung bewirken, gingen wir weiter der Frage nach, worin diese Zersetzung bestehe. Der namentlich nach langer und intensiver Belichtung oft deutlich bittere Geschmack der Milch legte uns zunächst den Gedanken an eine Eiweissspaltung mit der Bildung bitterschmeckender Peptone nahe. Mehrfache Analysen solcher belichteter bitterer Milch, verglichen mit der entsprechenden im Dunkeln gehaltenen wohlschmeckenden Kontrollmilch, ergaben aber stets die gleichen Resultate.

Nachdem mehrere Analysen das gleiche ergeben hatten, nahmen wir am 25. V. folgenden Versuch vor:

Eine grössere Portion Milch wurde scharf centrifugiert und der nach oben abgeschiedene Rahm abpipettiert. Aus der Magermilch wurde sodann das Kasein abgeschieden und nach gründlicher Fettextraktion (im Soxhlet) in verdünnter Lauge gelöst; hierauf wurden gleiche Mengen Rahm, Kasein-Lösung und Molke zum Teil im Dunkeln, zum Teil im direkten Sonnenlicht aufgestellt. Nach 2 Stunden zeigte der im Sonnenlicht aufgestellte Rahm schon die Geruchs- und Geschmacksveränderung, während der Inhalt aller übrigen Flaschen, was Geruch und Geschmack betrifft, sich unverändert zeigte. Nach

weiteren 24 Stunden war die Zersetzung im belichteten Rahm, soweit sie sich dem Geruchs- und Geschmacksorgan verriet, noch deutlicher geworden, während der Inhalt aller übrigen Flaschen für die Sinnenprüfung unverändert geblieben war.

Nach dem Ergebnis dieses Versuches bestand kein Zweifel mehr, dass die zersetzende Wirkung von Licht und Sauerstoff im wesentlichen das Milchfett betreffen müsse.

Die spontan eintretende Fettzersetzung, die man entsprechend der Wirkung zersetzter Fette auf Geruch und Geschmack auch als „Ranzigwerden“ (rancidus = scharf, kratzend) bezeichnet, besitzt schon lange das Interesse der Chemiker.

Während die einen die Zersetzung mehr als einen Oxydationsvorgang betrachteten und demgemäss dem Luftsauerstoff die Hauptbedeutung beimassen, sahen andere dieselbe als einen hydrolytischen Vorgang an und erblickten daher die Hauptursache, ja vielfach die alleinige Ursache der Fettspaltung in der Luftfeuchtigkeit. Endlich legen viele Autoren den in den Fetten enthaltenen Beimengungen, Verunreinigungen, Fermenten und Pilzen grosse Bedeutung bei. Als sich speziell die Kenntnisse von den Bakterien mehrten, wurden diese als die Hauptsündenböcke bei der Fettzersetzung angesehen; andere wiederum bestritten jegliche Bedeutung der Mikroorganismen.

Einen bedeutsamen Fortschritt machte Duclaux, der (1888) zeigte, dass vor allem dem Sonnenlicht eine erhebliche Bedeutung bei der Fettzersetzung zukommt, indem es eine schon selbständig erfolgende Zersetzung beschleunigt, also gewissermassen, wie wir uns heute ausdrücken, katalytisch wirkt.

Alle Zweifel darüber, dass in der Tat Sonnenlicht und Sauerstoff allein Fett zersetzen können, behob die unter Gaffky's Leitung ausgeführte schöne Arbeit Ritsert's. Er zeigte, dass sterile Fette weder durch Einimpfung von Bakterien (Rein-

kulturen aus ranzigem Fett, Mischkulturen aus solchen, Kot, faulender Heuaufguss) noch durch Zutritt des Sauerstoffs allein, des Lichtes allein, des Lichtes im Verein mit Wasserstoff, mit Kohlensäure oder mit Stickstoff zersetzt werden, dass aber bei gemeinsamer Wirkung von Sauerstoff bezw. Luft und Licht, die verschiedensten Fette (auch Butter) sich rasch zersetzen.

Ritsert wies ferner nach, dass Luft bezw. Sauerstoff unter dem Einfluss des Lichtes von der Milch absorbiert wird. Er vermutet, dass dann durch das Licht der Sauerstoff aktiviert wird und so die Fettzersetzung (Oxydation) veranlasst.

In steriles frisches reines Fett eingeimpfte Bakterien gehen nach Ritsert zu Grunde, vermögen also auch nicht Fett zu zersetzen; sie können sich nur auf schon zersetzten Fetten vermehren und so höchstens sekundär zu weiteren Fettzersetzungen beitragen. Auch die schon genannte Mutmassung einiger Forscher, dass Wasser eine Rolle bei der Fettzersetzung spiele, konnte Ritsert zurückweisen. Auch trockene Fette zersetzten sich unter dem Einfluss des Lichtes und bei Zutritt absolut trockener (über Chlorkalcium und Schwefelsäure geleiteter) Luft. Auch Fermentwirkungen sind auszuschliessen, da selbst mehrere Stunden auf 140° erhitztes Fett durch Licht und Sauerstoff zersetzt wurde. Die Angaben Ritsert's fanden später zum Teil vollinhaltliche, zum Teil teilweise Bestätigung, während andere wiederum an der Bedeutung der Mikroorganismen festhielten.

Aber mit der chemischen Charakterisierung der Ranzigkeit hatte es in der Folgezeit noch grosse Schwierigkeiten. Im allgemeinen gewinnt man bei der Lektüre der vielen Arbeiten über das Ranzigwerden der Fette den Eindruck, dass der Begriff der „Ranzigkeit" noch in keiner Weise scharf umgrenzt ist. Der Chemiker scheint im allgemeinen die Bakterien, deren Fettspaltungsvermögen nach den Untersuchungen Rubners, Laxas und Schreibers nicht bezweifelt werden kann und die, wie Ritsert gezeigt hat, auf schon zersetzten und unreinen Fetten auch sich entwickeln können, zu vernachlässigen, die Bakteriologen wiederum haben die reine Lichtwirkung häufig nicht genügend be-

achtet. Es war daher eine lohnende Aufgabe für den Chemiker, unter strenger Beachtung des Umstandes, dass einerseits Licht und Luft ohne Mithilfe von Mikroorganismen reine Fette zersetzen können, dass aber andererseits auch den Bakterien eine gewisse Rolle bei der Fettzersetzung zukommen kann, den bisher gebräuchlichen Begriffen einen wohl definierten Inhalt zu geben.

Dieser Aufgabe hat sich nun — und unseres Erachtens durchaus mit Erfolg — Jensen unterzogen. Nach seinen Angaben müssen wir streng unterscheiden zwischen Oxydationsprozessen, die hauptsächlich die flüchtigen Fettsäuren und das Glycerin betreffen und chemisch sich durch Veränderungen der Jodzahl, eventuell auch durch die Stärke der Aldehydreaktion charakterisieren, und der einfachen hydrolytischen Spaltung der Fette in Glycerin und Fettsäuren, die sich chemisch in einer Zunahme der Säurezahl dokumentiert. Dass die Ungeniessbarkeit eines zersetzten Fettes nicht parallel der Säurezahl geht, ist nach Jensen deshalb ohne weiteres verständlich, da nur flüchtige oder lösliche Fettsäuren auf die Sinne wirken, alle aber an der Erhaltung der Säurezahl beteiligt sind.

In welcher Weise sich chemisch die Fettzersetzung durch Luft und Licht zu erkennen gibt, zeigte Jensen in folgendem Experiment. Er bestimmte die Säure- und Jodzahl steriler Butter, die er unter verschiedenen Bedingungen aufstellte:

	Säurezahl	Jodzahl
vor Beginn des Versuchs	2,9	39,1
in der Sonne	3,5	34,6
im diffusen Licht bei 35°	3,1	36,3
im Dunkeln	2,9	39,1

Sonnenlicht bewirkt also nur geringe Zunahme der Säurezahl (hydrolytische Spaltung), wohl aber starke Abnahme der Jodzahl (Oxydation).

In besonders instruktiven Versuchsreihen verglich sodann Jensen die Veränderung von sterilisierter und nicht sterilisierter Butter, die er unter verschiedenen Bedingungen aufstellte. Wir geben einen seiner Versuche hier wieder. Die Säurezahl der untersuchten Butter war vor Beginn des Versuchs = 2,0; die Jodzahl = 39,3.

	sterilisierte Butter			nicht sterilisierte Butter		
	Säure-zahl	Jod-zahl	Keim-zahl	Säure-zahl	Jod-zahl	Keimzahl
in der Sonne	2,7	30,8	0	5,4	30,5	800
im diffusen Licht bei 35°	2,5	35,4	0	9,0	37,1	400000
diffusen Licht bei 20°	2,3	37,5	0	16,0	38,1	4000000
im Dunkel	—	—	—	17,9	39,3	7000000

Dieser Versuch zeigt, dass Veränderungen der Jodzahl nur im Licht, besonders intensiv im direkten Sonnenlicht eintreten; hier fand er auch kräftige Aldehydreaktion. Bemerkenswert ist ferner, dass die Abnahme der Jodzahl bei der im diffusen Licht und bei 35° aufgestellten Probe grösser ist, als in der entsprechenden bei 20° aufgestellten Butter, obwohl an letztere das Licht besser heran konnte. Es muss also auch Erhöhung der Temperatur eine Rolle spielen. Die Zunahme der Säurezahl war bei den sterilen Proben nur gering, das Sonnenlicht bewirkt also nur geringe hydrolytische Spaltung. Mässig ist die Zunahme in der nicht sterilen stark belichteten Probe offenbar infolge der bakterienfeindlichen Wirkung der Sonne. Gleichzeitig lehrt dieser Versuch, dass die Vermehrung der Säurezahl auf Bakterieneinwirkung beruht (hydrolytische Spaltung der Fette und Milchsäurebildung aus dem Milchzucker). Die grösste Veränderung der Säurezahl wies die im Dunkeln gehaltene nicht sterile Butter auf; hier hatten sich die Bakterien ungehindert entwickeln

können. Diese Probe hatte zugleich den stärksten, wirklich ranzigen Geschmack. Jensen gebraucht dementsprechend den Begriff „Ranzig“ ausschliesslich für die unter Mitwirkung von Bakterien erfolgende hydrolytische Spaltung des Butterfettes. Da in wirklich reinen und unzersetzten Fetten sich aber Bakterien nicht entwickeln können, fügt Jensen durchaus logisch hinzu, dass man von einem Ranzigwerden reiner Fette (in dem von ihm diesem Begriff beigelegten Sinne) nicht reden kann. Die Oxydation der Fette durch Luft und Licht ist ein prinzipiell verschiedener Vorgang; vielleicht empfiehlt sich für ihn nach dem Vorschlag Jensens der Begriff des Talgigseins. Vielleicht ist die Kreis'sche Phloroglucinprobe (s. Winckel) geeignet zur weiteren Differenzierung beider Arten der Fettzersetzung.

Die Unterschiede zwischen ranziger und talgiger Butter stellt Jensen übersichtlich folgendermassen zusammen:

	Farbe	Geruch u. Geschmack	Jodzahl	Säurezahl	fr. Fettsäure
Belichtete (talg.) Butter	weiss	talgig	starke Abnahme	schwache Abnahme	hauptsächl. flücht. Fetts.
Ranzige Butter	normal	ranzig	keine Abnahme	starke Zuname	nicht flücht. Fettsäure

Wir glaubten zu diesem — hoffentlich nicht allzusehr ermüdenden — literarischen Exkurs deshalb berechtigt zu sein, weil bei der bisher herrschenden Begriffsunsicherheit in den berührten Fragen der Unerfahrene unbedingt stutzig werden muss, wenn er liest, dass in einwandfreien Versuchen Ritsert zu dem Ergebnis kommt; Das Ranzigwerden der Fette erfolgt nur durch Licht und Luft, Jensen aber in nicht minder exakten Experimenten feststellt: Das Ranzigwerden ist Bakterienwirkung — die Verwirrung durch alle diejenigen, die weniger eindeutige Versuchsbedingungen wählten

als Ritsert und Jensen gar nicht mitzurechnen! Solche Erfahrungen zeigen überdies erneut und dringend, wie nützlich und notwendig eine scharfe Begriffsdefinition als Verständigungsmittel in der Wissenschaft ist.

Uns erscheinen die Gründe, die Jensen für seine Begriffsdefinition angeführt hat, genügend stichhaltig, um sie ebenfalls anzunehmen, und, indem wir auf unsere oben angeführten Experimente verweisen, können wir daher die von uns beobachtete Zersetzung des Milchfettes als ein Talgigwerden bezeichnen. In der Tat ähnelt der Geschmack dieser Milch gar nicht dem einer ranzigen Milch, wie wir ihn gelegentlich auch beobachtet haben (insbesondere bei Studien über Formalinkonservierung). Weil der Geschmack nichts Ranziges hatte, kamen wir anfangs gar nicht auf den Gedanken einer Fettzersetzung.

Dass es sich in der geschilderten Milchzersetzung um ein Talgigwerden (im Sinne Jensens) handelt, geht auch aus unseren chemischen Untersuchungen hervor, von denen die nachfolgenden Tabellen zwei Beispiele geben.

Wir stellten zunächst den Alkalescenzgrad der Milch unter Benutzung von Paranitrophenol als Indikator fest. Bezüglich der Gründe für die Anwendung dieses Indikators verweisen wir auf Ausführungen v. Behring's[1]). Benutzt man nämlich wie bisher üblich Phenolphtalein als Indikator für die Milch-Reaktion so „reagiert die frische Milch wie eine saure Flüssigkeit, obwohl sie annähernd die gleichen Reaktionsverhältnisse zeigt, wie das aus dem Blute des Milch liefernden Tieres gewonnene Blutserum, welches in der Physiologie als eine alkalisch reagierende Flüssigkeit angesehen wird". Auf Grund von Erwägungen, die auf Auseinandersetzungen Nernst's zurückgreifen, erscheint die Benutzung von Paranitrophenol durchaus angezeigt, zumal der Farbenumschlag nach unsereu Erfahrungen auch deutlicher ist als bei Benutzung von Phenolphtalein.

---

1) Ausstellung für Säuglingspflege in Berlin, Verlag von Rudolf Mosse, Seite 154.

Sodann bestimmten wir die Jodzahl. Die Bestimmung der Jodzahl nahmen wir nach einer von Herrn Professor Rupp uns freundlichst empfohlenen Methode vor: In einem gut verschlossenen, 100 kcm fassenden Messcylinder wurden 25 kcm Milch gebracht, mit 2 kcm starken Ammoniaks versetzt und nach starkem Schütteln 10 kcm 95 % Alkohols zugefügt. Dann werden 40 kcm Aether und 23 kcm leicht siedenden Petroläthers hinzugesetzt. Nach jedem Zusatz wird die Mischung stark geschüttelt. Nach 4stündigem Stehen werden 40 kcm der Aetherfettlösung in gut verschlossene Gläser abpipettiert und mit 20 kcm einer frisch bereiteten Hübl'schen Mischung mit $^1/_{10}$ Normalnatrium-Thiosulfat titriert (gegen Schluss der Titration mit Benutzung von Stärkelösung als Indikator). Daneben wurde stets ein blinder Versuch mit entsprechenden Quantitäten der Petrolaether-Aethermischung und der Hübl'schen Mischung angestellt. Aus der Differenz zwischen dem Ergebnis dieses blinden Versuchs und dem Milchversuch wurde die von den 40 kcm der Fettlösung absorbierte Jodmenge festgestellt, sodann auf die gesamte Fettlösung und endlich auf 100 kcm Milch umgerechnet. Die nachfolgenden Jodzahlen bedeuten also die unter den angegebenen Bedingungen von 100 kcm Milch absorbierte Jodmenge.

Sterile Milch.

100 kcm = 1,292 gr Jod.

	in 5 Tagen (viel Sonne)	in 9 Tagen (keine Sonne)
im Dunkeln	1,291	1,28
im Licht	0,759	0,7

Sterile Milch.

100 kcm = 0,568 gr Jod. — Alkalescenzgrad = 47,2 kcm N. L. pro 1 Liter.

	im Dunkeln				im Licht			
	Geruch u. Geschmack	Farbe	A.G.	J. Z.	Geruch u. Geschmack	Farbe	A.G.	J. Z.
1 St. Sonne	normal	gelblich	47,2	0,567	deutlich talgig	etwas weisslich	47,2	0,566
1 1/4 St. Sonne + 5 St. Tageslicht	„	„	47,1	0,567	stark talgig	„	47,0	0,562
1 1/2 St. Sonne + 18 1/2 St. Tagesl.	„	„	47,1	0,57	„	„	46,8	0,563
4 1/2 St. Sonne + 28 St. Tageslicht	„	„	47,2	0,568	„	„	45,0	0,419

Unsere Versuchsergebnisse stimmen also mit denen Jensens überein, insofern als wir nur geringe Abnahme des Alkalescenzgrades und starke Abnahme der Jodzahl bei Einfluss von Licht und Luft auf Milch fanden. Der letzte Versuch ist insofern besonders instruktiv, als er zeigt, dass die Sinnenprüfung mehr leistet, was die Erkennung des Beginns der Fettzersetzung betrifft, als die chemische Untersuchung.

Bemerken wollen wir noch, dass wir die Kreis'sche Ploroglucinprobe, die nach der Angabe Winckel's bei belichteten Fetten positiv ausfällt, mit belichteter Milch nicht erzielen konnten.

III.

Nach dem Gesagten ist es verständlich, dass der Zersetzung des Milchfettes lediglich durch Luft und Sauerstoff unter Umständen eine wirtschaftliche Bedeutung zukommen kann. Der Milchlieferant, der nicht darauf achtet, dass seine Milch beim Transport vor Licht geschützt ist, kann riskieren, dass seine Ware wertlos wird auch wenn sie noch so sorgfältig gewonnen war. Indessen wird eine erhebliche praktische Bedeutung diesem Moment nicht zukommen, da ja die Hauptmasse der Milch in

der Regel in verschlossenen Blechkannen transportiert wird. Neuerdings macht sich aber — und aus bestimmten Gründen durchaus mit Recht — immer mehr das Bestreben geltend, die Milch in Flaschen abzugeben; speziell die für die Säuglingsernährung bestimmte Milch wird gern in trinkfertigen Einzelportionen flaschenweise geliefert. Diese Flaschen bestehen nun fast ausnahmslos aus durchsichtigem Glas. Wir konnten uns sowohl hier in Marburg als auch in anderen Städten, z. B kürzlich in Köln, davon überzeugen, dass häufig die für den Haushalt bestimmte Milch in Blechkannen im Wagen stand, während die als Kindermilch bezeichnete Ware in besonderen Glasflaschen in durchsichtigen Drahtgestellen auf dem Wagen paradierte. Die Zeit, während der eine solche Milch dem Licht ausgesetzt wird, kann, wie wir oben auseinandergesetzt haben, an sonnenhellen Tagen vollkommen ausreichen, um eine Fettzersetzung der Milch zu bewirken. Wir konnten öfters Milchwagen sehen, deren Kindermilch, während der Milchkutscher seine Kunden in den Häusern bediente, mitten in der Sonne stand. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass unter solchen Bedingungen viele Kinder eine verdorbene Milch erhalten. Nun wird allerdings stark zersetzte Milch der prüfenden Zunge der Mutter wohl kaum entgehen; hat aber die Belichtung nicht allzulange gedauert, oder ist sie nicht allzu intensiv gewesen, so ist der Geschmack, selbst für die geübte Zunge oft nur wenig verändert. Wir selbst konnten die Geschmacksveränderungen unter solchen Bedingungen manchmal erst durch den Vergleich mit der entsprechenden im Dunkeln gehaltenen Kontrollmilch erkennen. Der empfindliche Säugling könnte wohl auf eine solche Milch schon mit Störungen seines Wohlbefindens antworten.

Ob solche durch Belichtung verdorbene Milch gesundheitsgefährlich ist, suchten wir durch Tierversuche zu ergründen.

Wir entnahmen 16 Mäuse von durchschnittlich 5,2 gr (keine Maus unter 5 und über 5,5 gr) derselben Zucht, setzten sie zu

je 4 in 4 verschiedene Käfige. Die Mäuse erhielten täglich gleiche Mengen Milch und zwar die einen frische Rohmilch, die anderen Perhydrasemich, wiederum andere durch Dampf sterilisierte Milch und die letzten 4 endlich im Licht verdorbene, aber keimfreie Perhydrasemilch. Die Tiere wurden täglich zu derselben Stunde gewogen. Die nachfolgende Tabelle erhält das Ergebnis dieses über 14 Tage fortgesetzten Fütterungsversuchs:

Durchschnittliche Gewichtszunahme bei Mäusen in gr nach dem Anfangsgewicht (durchschnittlich 5,2 gr.)

ernährt mit:	nach 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Tagen
Rohmilch	1,18	1,8	1,9	2,75	2,8	2,8	3,25	3,6	4,0	4,0	4,125	5,4	6,725	6,27	6,152	
Perhyd.-milch	1,17	2,0	1,625	3,07	3,5	3,37	3,33	3,12	4,0	4,125	4,7	5,3	5,7	6,16	6,47	
Sterilis. Milch	1,0	1,15	1,6	1,6	2,0	2,6	2,5	2,5	3,0	3,5	4,00	4,75	5,05	5,3	5,55	
Talgige Milch	0,9	1,125	1,25	1,8	1,6	2,1	3,0	2,9	3,25	3,125	3,05	3,05	4,125	5,14	5,25	

Mäuse sind im allgemeinen sehr leicht aufzuziehen, daher sind auch in den vorstehenden Versuchen die Differenzen nicht sehr gross, zumal die Mäuse ausserdem noch Hafer erhielten; immerhin ist es zunächst doch sehr ausgesprochen, wie die Gewichtszunahmen für die mit Rohmilch und mit Perhydrasemilch ernährten Mäuse übereinstimmen und schliesslich die gleiche Höhe erreichen. Die Gewichte der mit steriler Milch ernährten Mäuse sind dagegen dauernd kleiner als die erstgegenannten. Die diätetische Minderwertigkeit der durch Hitze sterilisierten Milch ist allgemein anerkannt und kommt bei grösseren Tieren (vgl. Behring's Beiträge zur exp. Theraphie, Heft 9) noch deutlicher zum Ausdruck. Die Gewichtszunahmen der mit belichteter Milch ernährten Mäuse entspricht nun im allgemeinen denen der mit sterilisierter Milch ernährten Tiere, ja

sie wird vom 10. Tage ab deutlich geringer. Der plötzliche Anstieg vom 13. Tage an ist vielleicht darauf zurückzuführen, dass unser Vorrat an belichteter Milch aufgebraucht war und wir mit der Herstellung frischer belichteter Milch Schwierigkeiten hatten, da Gewitterwolken an diesen Tagen vielfach die Sonne verdeckten. Aus dem gleichen Grunde musste die ganze Versuchsreihe am 15. unterbrochen werden. Immerhin ist ihr Ergebnis während dieser 15 Tage wohl ziemlich eindeutig, und wir bedauern nur dass wir nicht noch eine 5. Serie von Mäusen mit durch Hitze sterilisierter und belichteter Milch ernährt haben; denn das ist ja die Milch, die gerade in der Praxis vielfach zur Anwendung kommt. Erfahrungen an anderen Tieren lassen also ohne weiteres die Schlussfolgerung zu, dass die geringe Gewichtszunahme der mit durch Hitze sterilisierter Milch ernährten Mäuse direkt auf einer diätetischen Minderwertigkeit derselben beruht; ob aber die Gewichtskurve der mit belichteter Milch ernährten Mäuse darauf zurückzuführen ist, dass solche belichtete Mich weniger bekömmlich ist als Rohmilch, oder ob die Mäuse lediglich dieselbe weniger gern genommen haben, können wir nicht mit Sicherheit entscheiden. Wenn in der Tat solche belichtete Milch auch bei Aufnahme der gleichen Menge weniger bekömmlich sein sollte, so dürfte uns das nicht wundern, denn nach Bokai sind Fettsäuren als „Darmreize“ namentlich für den Dünndarm anzusehen. Bokai sagt wörtlich, dass auf Grund seiner Versuche „alle von mir untersuchten Säuren eine diarrhoische Wirkung haben müssen, weil schon die angewendeten winzigen Dosen recht starke Darmbewegungen hervorzurufen imstande sind“ „sie erzeugen auch, in kleineren Dosen gebraucht, Katarrh des Verdauungstraktes, in grösseren Dosen eine Entzündung desselben“. Es sei auch an die Selbstversuche Aratas erinnert, der nach Aufnahme ranziger Butter Erbrechen, Leibschmerzen und Durchfall bei sich beobachtete, auch bei Kindern heftiges Erbrechen und Diarrhoe nach Genuss ranzigen Fettes sah. Wir haben mit unserer Milch Selbstversuche nicht vornehmen können, weil schon die geringsten Mengen derselben so widerlich und ekelerregend sind, dass sie sofortigen Brechreiz zur Folge haben.

Wenn wir daher auch noch nicht mit absoluter Gewissheit behaupten können, dass belichtete Milch dem menschlichen Säugling gefährlich ist, so muss man doch auf Grund unserer Feststellungen ohne Weiteres die Möglichkeit zugeben, dass sie für den Säugling schädlich sein kann. Vielleicht hängt also mancher Fall von Darmkatarrh beim Säugling nicht nur mit den Bakterien der Milch und deren Produkten zusammen, sondern auch mit der durch das Licht bewirkten Milchzersetzung. Auffallend ist, dass bisher die Tatsache, dass Milch auf den Zutritt von Sauerstoff und Licht mit einer Zersetzung des Fettes antwortet, so wenig in den Kreisen der Aerzte und Hygieniker bekannt ist, obwohl wie wir nachträglich feststellen, die Hausfrauen vielfach, wenn auch wohl mehr instinktiv ihre Milch vor dem Licht schützen. In den Lehrbüchern ist die Bedeutung des Lichtes für die Milch bisher noch nicht gewürdigt und nur für die Butter berührt. So schreibt, um nur die bekanntesten Lehrbücher zu citieren, Prausnitz: „Gute Butter oder Butterschmalz haben einen angenehmen aromatischen Geschmack, während Butter, welche nicht mit der nötigen Sorgfalt hergestellt ist, oder an ungeeigneten Ort aufbewahrt wird, „ranzig“ riecht und schmeckt. Der ranzige Geruch und Geschmack rührt zum Teil von freien Fettsäuren her, in welchen Milchfette ursprünglich nicht vorhanden sind, sondern sich erst später unter gewissen Bedingungen (Einwanderung von Bakterien und Einwirkung von Luft und Licht) abspalten“, und Gärtner sagt: „Ranzig heisst die Butter dann, wenn sie unangenehm riechende und schmeckende freie Fettsäuren und Oxydfettsäuren enthält. Das Ranzigwerden lässt sich durch Abschluss von Licht und Sauerstoff verhindern.“

Dagegen fehlt in den Kapiteln über die Milch die Hervorhebung der Bedeutung von Luft und Licht für dieselbe. Nur König weist auch auf ein Ranzigwerden der Milch hin, wenn er sich auch über die Bedingungen des Ranzigwerdens nur sehr allgemein ausdrückt: „Fehlerhaft conservirte Milch nimmt nämlich mit der Zeit einen talgartigen, mitunter ranzigen und bitteren Geschmack an.“

Wir haben uns endlich noch mit der Frage beschäftigt, wie wir diese Milchzersetzuug durch Licht und Luft am besten vermeiden. Ritsert, der die Bedeutung des Lichts im Verein mit der Luft für die Fettzersetzung am klarsten erkannt hat, hält zum Zweck der Konservierung der Fette es für das zweckmässigste, die Fette unter Sauerstoffabschluss aufzubewahren. Das ist für die Milch nicht angängig: denn ganz abgesehen von den praktischen Schwierigkeiten wäre dies eine Methode, die die Entwicklung gesundheitsgefährlicher Anaërobier in der Milch sehr begünstigen würde. Wir müssen also das Licht fernhalten. Man könnte daran denken statt der Flaschen aus weissem Glas solche aus Blech oder Emaillegefässe oder auch Gefässe aus schwarzem, rotem oder grünem Glas zu benutzen. Da aber die Hausfrau gern die Milch auch mit dem Auge mustert, würden erstere nicht zu empfehlen sein, und gegenüber Flaschen aus farbigem Glas kann man sich eines gewissen unapetitlichen Gefühls schwer erwehren. Dagegen ist es sehr einfach, die Milch vor der Zersetzung durch Lichtwirkung zu schützen, wenn man sie in einer Blechhülse transportiert. Die gleichen Dienste leistet die Umhüllung mit schwarzen, rotem oder grünem Seidenpapier. Wie oben ausgeführt, glaubt Jensen, dass auch Erwärmung der Fette im Verein mit Sauerstoffzutritt ein Talgigwerden bewirken kann. Wir haben für die Milch dieses Phaenomen auch bei wochenlangem Stehen im Brütsehrank nicht bestätigen können, wenigstens nicht für die blosse Sinnenprüfung. Immerhin wird es sich empfehlen, Milch nicht nur vor Licht zu schützen, sondern auch kühl aufzubewahren. In der Praxis werden wir jedenfalls künftighin die geschilderte Milchfett zersetzende Lichtwirkung nicht ausser Acht lassen dürfen.

Nach den Angaben von Duclaux werden die Glyceride der nicht gesättigten Fettsäuren besonders leicht durch Licht und Luft zersetzt. Dem entspricht auch die Feststellung Roloff's, dass Licht besonders ungesättigte Kohlenwasserstoffe beeinflusst. Angesichts dieser Angaben erscheint es als eine sehr zweckmässige Einrichtung der Natur, dass der dem Licht dauernd

ausgesetzte Hauttalg in der Hauptsache aus den schwerer zersetzlichen Triglyceriden der gesättigten Fettsäuren (Stearinsäure und Palmitinsäure) besteht; wir würden sonst fortwährend unter der ätzenden Wirkung der Fettsäuren zu leiden haben. Sehr intensive und dauernde Belichtung vermag auch die Glyceride der gesättigten Fettsäuren anzugreifen. Vielleicht hängt das heftige Brennen der Haut an unbedekten Körperstellen nach langer Wanderung in glühender Sonne auch mit der Abspaltung von Fettsäuren aus den festen Fetten des Hauttalgs zusammen. Durchaus zweckmässig verfährt auch die Natur, wenn sie die Milch mit ihrem lichtempfindlichen Fetten (die Milch enthält ja Glyceride der ungesättigten Fettsäuren) vor dem Licht schützt; denn wir dürfen ja nicht vergessen, dass der natürliche Beruf der Milch darin besteht, direkt von der Brust bezw. vom Euter durch das saugende Neugeborene aufgenommen zu werden, ohne dass sie auch nur für Momente in Berührung mit dem Tageslicht kommt. Erst der Mensch ist es ja, der in das feine Räderwerk natürlichen Geschehens eingreift und damit vielleicht Gefahren heraufbeschwört, die auf Grund unserer Beobachtungen und Erwägungen künftighin wohl nicht mehr unberücksichtigt bleiben dürfen.

Herr Dr. K. S. Iwanoff (als Gast) hielt einen Vortrag:

Ueber ein experimentelles Brocken-Gespenst.

Ich stehe am Fenster und sehe den Nebel im Thale. An dieser weissen wellenförmigen beweglichen Oberfläche sehe ich einen dunkleren flachen Schattenfleck. Ich denke, dass es eine verdünntere Stelle in der Nebelwolke sei. Aber die Nebelwolke kommt immer näher und näher und dann sehe ich, dass dieser Schatten ein körperliches Aussehen und namentlich die Form einer Uhrglasscheibe hat und ich erkenne bei einäugigem Sehen, dass diese Uhrglasscheibe eine bestimmte Tiefe hat.

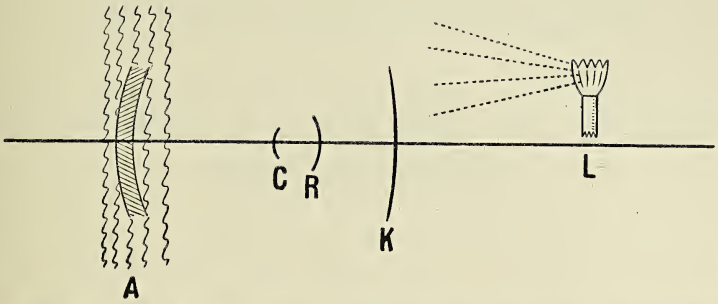


Fig. 1. A. Wellenförmige Oberfläche des Nebels mit schematischem Bilde des Schattens. C = Corea, R = Retina, K = Hintere Oberfläche des Kopfes des Beobachters. L = Lampe.

Die Nebelwolken kommen immer näher und näher und ich kann endlich meinen eigenen Schatten ganz nahe vor mir sehen. Ich bemerke dann, dass hinter mir die Lampe steht mit einer hyperboloidähnlichen Kuppel aus Milchglas und ich verstehe endlich: das ist mein Schatten, ergo Brockengespenst. Diese Erscheinung kann man zweideutig erklären oder im Sinne von elektromagnetischer Theorie des Lichts als eine Nachahmung der Hertz'schen Versuche mit stehenden Wellen, nur nicht mit Spiegeln, sondern mit Phenomenen der Lichtzerstreuung und Lichtconcentration auf hyperboloidförmigen Flächen und mit Hilfe der Wellenoberflächen, welche auch eine Hyperboloidform haben.

Wirklich, wir haben in unserer Retina, unserer Hornhaut und in der Tenonschen Kapsel einige Rotationshyperboloidflächen und können dann folgendes Schema (Fig. 2) construiren,

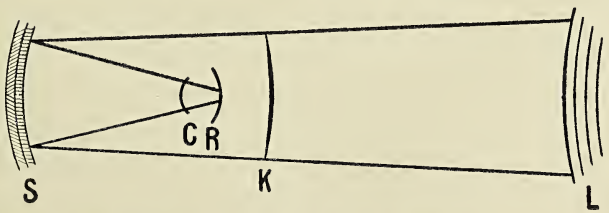


Fig. 2. S = Schatten. C, R, K, H, L s. Fig. 1.

weil die Netzhautprojektion in äusserem Raume eine Hyperboloidfläche nach Helmholtz vorstellt, und das Lichtstrahlbündel kann man betrachten als ein unendlich dünnes Hyperboloid mit hyperboloidähnlichen gekrümmten Endflächen, und aus den Eigenschaften dieser Hyperboloidfläche kann man leicht viele Gesetze der Bewegung des Lichtes erklären. Nur denke man sich dann anstatt cylindrischer Wirbelfäden und ringförmiger Wirbelringe von Helmholtz ein Strahlenbündel, welches dem Strahle des Wassers, das aus einer engen Öffnung unter Druck herausgepresst oder herausgeschleudert wird, ähnlich ist. Die Differenz zwischen den Helmholtz'schen Wirbeln und dieser Vorstellung liegt nur in jenem Umstande, dass wir anstatt unendlich dünner cylindrischer Wirbelfäden ein unendlich dünnes Hyperboloid haben. Alle Vorgänge, sowohl elektromagnetische, als einfache Lichterscheinungen beobachtet man nur auf der Oberfläche des Strahlenbündels.

Die Erklärung im Sinne von der Helmholtz'schen Theorie des einäugigen Sehens kann man geben in verschiedenen Accomodationseinstellungen des Auges auf ein undeutliches Schattenbild und aus Eigenschaften des Horopters.

Einige Beobachtungen über die Weinbergschnecke (Helix pomatia) zeigen auch, dass dieses Thier die Bewegungen seiner Augen auf einer Hyperboloidfläche macht. Aus diesen und verschiedenen anderen Beobachtungen kann man vermuten, dass wir eine vielfache Anwendung der Hyperboloidfläche erwarten können, nur müssen wir anfangs die darstellende Geometrie dieser Fläche eingehend studieren und mit Geometrie von Lobatschewsky vergleichen.

Sitzungsberichte

der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Nr. 8 **Juli** **1906**

In der Sitzung der Gesellschaft vom 11. Juli berichtete Herr F. Richarz zunächst:

Über die Fortsetzung der Versuche des verstorbenen ordentlichen Mitgliedes Joh. Kiessling durch Herrn Erich Barkow,

siehe dessen Inaugural-Dissertation vom 4. März d. J., Marburg bei Joh. Hamel: „Versuche über Entstehung von Nebel und dessen optische Eigenschaften bei Wasserdampf und einigen anderen Dämpfen.“ Von den Resultaten, die Herr E. Barkow gefunden hat, soll hier nur, als in diesen Sitzungsberichten noch nicht publiziert, erwähnt werden, dass Ozon bei längerem Stehen mit Luft, oder auch mit Sauerstoff, der auch nur etwas Stickstoff enthält, nebelbildende Condensationskerne erzeugt, besonders bei Belichtung. Als wahrscheinlich hat Herr E. Barkow nachgewiesen, dass Oxydation des Stickstoffs durch das Ozon stattfindet (pag. 40—56 der Dissertation) und dass die Oxydationsprodukte die Condensation hervorrufen. Zwar fand Herr E. Warburg bezw. Herr Kreusler (Ann. d. Physik **13**, 1904, p. 470; Ber. d. Ak. d. Wiss. Berlin 1903, p. 1012), dass das Ozon, welches bei Spitzenentladung in stickstoffhaltigem Sauerstoff, aus Elkan'schen

Bomben entnommen, entsteht, den Stickstoff nicht oxydire. Meissner dagegen behauptete in seinen „Untersuchungen über den Sauerstoff," Hannover 1863, pag. 131 und 132, dass Ozon den Luftstickstoff oxydire. Herr Barkow ist auf Grund seiner Versuche derselben Ansicht. Herr E. Pringal setzt die Versuche von Herrn E. Barkow im Physikalischen Institut fort.

Im Zusammenhange mit den Versuchen von Herrn E. Barkow steht auch, dass Herr Dr. Karl Stuchtey im hiesigen Institut gefunden hat, dass die Oxydationsprodukte, die Ozon mit Stickstoff erzeugt, auch dann, wenn letzterer nur in Spuren vorhanden ist, elektrische Leitfähigkeit direkt oder indirekt erzeugen. Bei Gelegenheit dieser Versuche fand Herr Dr. K. Stuchtey auch, dass Paraffin von Ozon angegriffen wird: im Gegensatz zur allgemeinen Annahme (vgl. z. B. Travers, Experimentelle Untersuchung von Gasen, deutsch von Estreicher, Braunschweig, Vieweg u. Sohn, 1905, pag. 53). Und zwar bildet sich beim Angriff des Ozons auf das Paraffin sowohl auf dessen Oberfläche eine elektrisch leitende nicht-flüchtige Verbindung, als auch nach dem Geruch zu vermuten, vielleicht eine flüchtige, die dann — von Paraffindichtungen der Hähne, Schliffe u. s. w. aus — Leitfähigkeit wiederum direkt oder indirekt zu erzeugen im Stande ist.

Sodann sprach Herr F. Richarz über **neue Methoden zum Nachweis der Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe** und demonstrirte zuerst den Apparat von Hefner-Alteneck an einem Exemplare, welches der Erfinder Herrn F. Kohlrausch, und dieser dem Institut zum Geschenk gemacht hat. Der Apparat ist bekannt und braucht nicht beschrieben zu werden. Dasselbe gilt von dem Demonstrationsverfahren von Herrn E. Warburg, bei welchem gezeigt wird, dass ein und dieselbe Gasflamme an einer höheren Stelle des Auditoriums befindlich mit grösserer Flamme brennt, als an einer tieferen. Auch der Versuch von Herrn U. Behn beweist die Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe. Bei ihm brennen zwei Flammen in der Nähe der Enden eines horizontalen Zuleitungsrohres, zu

gleichen Flammengrössen regulirt. Bei auch nur geringer Neigung des Zuleitungsrohres wird die höher befindliche Flamme bedeutend grösser, die tiefere kleiner. Während indessen die Demonstrationen nach Hefner-Alteneck und Warburg direkte sind, beweist der Versuch von Herrn U. Behn die Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe nur indirekt. Der Behn'sche Versuch findet nämlich direkt seine Erklärung in dem Auftrieb, den das Leuchtgas zwischen der tieferen und der höheren Brenneröffnung durch die umgebende Luft erfährt. Dieser Auftrieb allein genommen würde bewirken, dass das Leuchtgas, welches sich in dem von der Gasleitung losgelöst gedachten Rohre befindet, nur zur höher gelegenen Brenneröffnung hinausströmt, während die untere Flamme erlischt, wovon man sich durch Abreissen des verbindenden Schlauches überzeugen kann. Ist dagegen der Schlauch normalerweise mit der Gasleitung verbunden, so treibt der in ihr herrschende Überdruck das Leuchtgas auch an der tiefer gelegenen Brenneröffnung hinaus, und die Verschiedenheit der Flammenhöhe ist die Folge der superponirten Wirkung vom Auftrieb und vom Gasdruck in der Leitung.

Dass diese Auffassung von Behns Versuch zutrifft, beweist dessen Umkehr, die man erhält, wenn man das Zweibrennerrohr in Verbindung setzt mit einem Chloräthylfläschchen (Siedepunkt 11—12°), wie man sie zugeschraubt im Handel erhält. Die Dampfdichte des Chloräthyls C_2H_5Cl im Vergleich zu Luft beträgt $64 : 29 = 2{,}21$. Von den beiden Chloräthyldampfflammen wird bei Neigung des Zweibrennerrohres die tiefer befindliche länger, die höher befindliche kürzer, weil Chloräthyldampf nach unten fällt.

Kehren wir zu Behns Versuch mit Leuchtgas zurück. Der Auftrieb findet seine Erklärung in der Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe; man denke nur an den Beweis des archimedischen Prinzips! Insofern ist auch der Versuch von Behn in der Tat beweisend für die Abnahme des Luftdruckes

mit der Höhe. Aber in demselben Sinne ist auch das Aufsteigen einer mit Leuchtgas gefüllten Seifenblase beweisend dafür, dass an ihrer Oberseite der Luftdruck kleiner ist als an ihrer Unterseite; denn dadurch resultirt der Auftrieb, welcher grösser ist als das Gewicht des Leuchtgases plus Seifenblase.

In Zusammenhang mit der Erklärung des Behn'schen Versuches steht auch die Zunahme des Überschusses von Gasleitungsdruck über den äusseren Atmosphärendruck, wie er in den höher gelegenen Teilen von Gebirgs-Städten, wie der unsrigen, sich gegenüber den niedrig gelegenen Stadtteilen stark bemerkbar macht. Diese Überschusszunahme macht sich übrigens an einem Wassermanometer bereits für die Höhendifferenz zwischen Keller- und Dachgeschoss eines mehrstöckigen Gebäudes gut messbar geltend. Aus ihr kann der Dichtigkeitsunterschied zwischen Luft und Leuchtgas berechnet werden. Ich lasse diese prinzipiell instruktive Messung bereits seit 3—4 Jahren als Praktikum-Aufgabe ausführen. Ihre Auswertung gestaltet sich folgendermassen. Es sei der Gasdruck an der oberen Stelle P_o, an der tieferen P_u, entsprechend sei der Atmosphärendruck p_o bezw. p_u. Die Höhendifferenz beider Stellen sei h (in cm). Mit dem Wassermanometer wird gemessen:

$$P_o - p_o = \delta_o \cdot g$$
$$P_u - p_u = \delta_u \cdot g$$

wo δ in cm auszudrücken und g die Schwerebeschleunigung ist. Nennt man σ_G die Dichtigkeit des Gases, σ_L die der Luft, bezogen auf Wasser = 1, so ist der aërostatische Druck unten jedesmal gleich demjenigen oben vermehrt um das Gewicht einer zwischenliegenden Gassäule vom Querschnitte 1; also:

in der Gasleitung: $P_o + h \cdot \sigma_G \cdot g = P_u$

und in der freien Atmosphäre: $p_o + h \cdot \sigma_L \cdot g = p_u$

woraus:

$$P_o - p_o - h \cdot g\,(\sigma_L - \sigma_G) = P_u - p_u$$
$$h \cdot (\sigma_L - \sigma_G) = \delta_o - \delta_u$$
$$\sigma_L - \sigma_G = \frac{\delta_o - \delta_u}{h}$$

Indem man für σ_L die aus augenblicklichem Barometerstand und Lufttemperatur folgende Luftdichtigkeit einsetzt, erhält man für die Gasdichtigkeit selbst:

$$\sigma_G = \sigma_L - \frac{\delta_o - \delta_u}{h}.$$

Ferner trug Herr F. Richarz vor über Versuche von Herrn Julius Kapp zur Bestimmung des **Verhältnisses $\varkappa$ der spezifischen Wärmen bei einem Gasgemisch** und über dieses Verhältnis bei Luft (Fortsetzung von der Mitteilung in der Sitzung der Ges. vom Juli 1904, diese erste Mitteilung auch Drudes Ann. d. Phys. **19**, p. 639—642, 1906). Während die spezifische Wärme bei constantem Volumen c_v als Zuwachs der inneren Energie eines Gases pro Masseneinheit für ein Gasgemisch ihrem Wesen nach durch die Mischungsregel aus den Werten für die Bestandteile sich ergeben muss, gilt dies für die spezifische Wärme bei constantem Druck c_p dagegen nicht, da bei dieser die äussere Arbeit hinzukommt. Erst recht gilt dies daher nicht für das Verhältnis der beiden spezifischen Wärmen $c_p/c_v = \varkappa$. In meiner ersten Mitteilung habe ich theoretisch abgeleitet, dass $1:(\varkappa - 1)$ für ein Gemisch eine lineare Funktion der Dichtigkeit ε des Gasgemisches ist, dass dagegen für $\varkappa$ selbst, oder für die Abhängigkeit vom Gewichtsprozentgehalt μ des Gemisches an einem seiner Bestandteile eine einfachere Beziehung nicht gilt. Eine Beziehung für $\varkappa$ eines Gasgemisches ausgedrückt durch die $\varkappa$-Werte seiner Bestandteile musste damals aufgestellt werden, damit Herr Artur Jacobs aus den direkt bestimmten Werten von $\varkappa$ für ozonhaltigen Sauerstoff den Wert für reines Ozon durch Extrapolation berechnen konnte. Die Abhängigkeit einer Funktion Kappas gerade von der Dichtigkeit ε des Gemisches anzugeben, war dabei darum erforderlich, weil für die Ozon-Sauerstoffgemische die Dichtigkeit die aus den Messungen am einfachsten folgende, hypothesenfrei bestimmbare unabhängige Variable war (siehe Artur Jacobs, das Verhältnis $\varkappa$ der beiden spezifischen Wärmen c_p/c_v von Ozon. Inaugural-Dissertation Marburg 1904, Gleisers Universitäts-Buchdruckerei, pag. 15—20).

In anderen Fällen wird direkter aus den Messungen der Volumprozentgehalt an einem Bestandteil in dem Gemische ableitbar sein. Dann kann eine ganz analoge Formel für die Abhängigkeit der Kappawerte des Gemisches von dem Volumprozentgehalt sogleich aufgestellt werden. Bezeichnen wir wieder mit m', m'', m bezw. v', v'', v bezw. ε', ε'', ε die Massen, Volumina, Dichtigkeiten der beiden Bestandteile und des Gemisches, alle bei gleichem Druck (1 Atmosphäre) und gleicher Temperatur gedacht. Dann ist:

$$\varepsilon' = \frac{m'}{v'} \qquad \varepsilon'' = \frac{m''}{v''}$$

$$v = \frac{m' + m''}{v' + v''} = \frac{m'}{v'} \cdot \frac{v'}{v' + v''} + \frac{m''}{v''} \cdot \frac{v''}{v' + v''}$$

$$= \varepsilon' \cdot \frac{v'}{v' + v''} + \varepsilon'' \cdot \frac{v''}{v' + v''}$$

Jetzt führen wir den durch 100 dividirten Volumenprozentgehalt des einen Bestandteiles ein:

$$\varphi'' = \frac{v''}{v' + v''}$$

Dann wird:

$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot (1 - \varphi'') + \varepsilon'' \cdot \varphi''$$

oder: $\varepsilon = \varepsilon' + \varphi''(\varepsilon'' - \varepsilon')$.

Es ist also ε eine lineare Funktion von φ'', oder für die Dichtigkeit eines Gasgemisches gilt die Mischungsregel, aber bezogen auf Volumprozente. Hier und in meiner oben citirten ersten Mitteilung bin ich ganz elementar, fast trivial, bei der Aufstellung der Mischungsregel, damals bezogen auf Gewichtsgehalt für die spezifischen Volumina und die spezifischen Wärmen bei constantem Volumen, vorgegangen; das war aber notwendig, um zu erkennen, wie beim Fortschreiten zu der verwickelteren Grösse $\varkappa$ eine complicirtere „Mischungsregel“ im erweiterten Sinne ableitbar ist. Auch hat sich bei Gelegenheit einer Bestimmungsreihe der spezifischen Wärmen von Legierungen durch Herrn Oskar Richter im hiesigen Institut herausgestellt, dass in

der früheren Literatur von anderen Autoren in der Bezugnahme der Mischungsregel auf Gewichtsgehalt oder auf Volumengehalt manchmal ziemlich kritiklos verfahren worden ist. Herr Oskar Richter wird in seiner demnächst erscheinenden Inauguraldissertation hierauf ausführlicher zurückkommen. Aus meinen elementaren Formeln in der ersten und in dieser zweiten Mitteilung ersieht man folgendes: Wenn für eine abgeleitete Physikalische Grösse überhaupt die Mischungsregel bezogen auf Gewichts- oder Volumgehalt gilt, so gilt sie in ersterer oder in zweiter Hinsicht je nachdem die betreffende Grösse definirt ist in einer Division durch Masse oder durch Volumen. So hat es z. B. bei Legierungen nur einen Sinn, Schmelzwärmen auf etwaige Erfüllung der Mischungsregel nach Gewichtsgehalt, Ausdehnungscoeffizienten aber nach Volumengehalt zu prüfen.

Von der Grösse $1:(\varkappa - 1)$ hatte ich in meiner ersten Mitteilung abgeleitet, dass sie eine lineare Funktion der Dichtigkeit ε eines Gasgemisches sein müsse. Oben sahen wir nun, dass ε lineare Funktion des durch 100 dividirten Volumprozentgehaltes φ'' des einen Bestandteiles ist; also trifft letzteres auch für $1:(\varkappa - 1)$ zu, oder es ist:

$$\frac{1}{\varkappa - 1} = \frac{1}{\varkappa' - 1} + \varphi'' \left(\frac{1}{\varkappa'' - 1} - \frac{1}{\varkappa' - 1} \right)$$

oder für $1:(\varkappa - 1)$ gilt die Mischungsregel bezogen auf Volumengehalt, also bei Einführung von $\varphi' = (1 - \varphi'')$ oder dem relativen Volumgehalt des ersten Bestandteiles:

$$\frac{1}{\varkappa - 1} = \frac{\varphi'}{\varkappa' - 1} + \frac{\varphi''}{\varkappa'' - 1}$$

Herr Julius Kapp hat zunächst auf meine Veranlassung die Richtigkeit dieser vorstehend in verschiedenen Formen ausgedrückten Beziehung zwischen dem Kappawert für ein Gemisch und den Einzelwerten für seine Bestandteile in zwei Versuchsreihen experimentell geprüft. Dabei mussten Gase gemischt werden, deren $\varkappa$-Werte sicher bekannt waren; als solche wurden gewählt einerseits für beide Versuchsreihen Kohlensäure ($\varkappa =$

1,2995 nach Lummer und Pringsheim, Wied. Ann. **64**, p. 581, 1898) andererseits bei der ersten Versuchsreihe Sauerstoff ($\varkappa$ = 1,3977 nach denselben), bei der zweiten — günstiger wegen des noch höheren $\varkappa$-Wertes — Argon ($\varkappa = 1{,}6641$;[1]) s. O. Niemeyer, Inaug.-Dissertation, Halle a. S., 1902). Die angewandten physikalischen Methoden waren dieselben wie bei Herrn A. Jacobs: Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mittels Kundtscher Staubfiguren, und zwar für sehr hohe Töne (vergl. F. A. Schulze, Wied. Ann. **67**, p. 27 und **68**, p. 99, 1899), was den Vorteil der Verwendbarkeit geringer Gasmengen bietet. Das Verfahren relativer und schnell wechselnder Messungen für die Versuchsmischung und ein Normalgas machte Herrn A. Jacobs wie Herrn J. Kapp unabhängig von Änderungen der Temperatur und des Luftdrucks [der Referent über die Dissertation des Herrn A. Jacobs für die Beiblätter zu den Annalen der Physik (**29**, p. 951, 1905) hat dies übersehen], da ja solche Änderungen die Schallgeschwindigkeit beider Gase, deren $\varkappa$-Werte verglichen wurden, in demselben Verhältnis beeinflussen. (Vergl. F. Kohlrausch, Lehrbuch p. 231, Formel 2, 1905). Dazu kommt noch eine Besonderheit in derjenigen Erregungsart der Schallschwingungen, welche zuerst Herr A. Jacobs auf meinen Rat benutzt hat. Als Tonerreger wurden nämlich kleine Pfeifen verwendet, wie ich sie bereits in meiner ersten Mitteilung beschrieben habe. Bereits Herr A. Jacobs fand bei ihrer Benutzung eine grosse Übereinstimmung der Wellenlänge in den Kundtschen Röhren bei wiederholten Messungen für ein und dasselbe Gas. Dies rührt davon her, dass die Wellenlänge des erregten Tones durch die geometrischen Dimensionen des Pfeifchens ein für allemal gegeben ist, und dass sich daher bei Temperaturschwankungen wohl die Tonhöhe, nicht aber die erzeugte Wellenlänge ändern kann. In Herrn J. Kapps demnächst erscheinender Inauguraldissertation wird dieser grosse Vorteil eingehend besprochen werden.

1) Umgerechnet auf den Lummer-Pringsheimschen Luftwert von $\varkappa$ (1,4025).

Als Resultat seiner Versuche findet Herr J. Kapp die von mir aufgestellte Beziehung: $1:(\varkappa - 1)$ lineare Funktion von ε oder vom Volumenprozentgehalt innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler bestätigt. Man könnte von vornherein denken, es handele sich überhaupt nur um so kleine Unterschiede, von $\varkappa$ mindestens $= 1{,}3$ bis höchstens $= 1{,}67$, dass man ebensogut innerhalb der Grenzen der Versuchsfehler für $\varkappa$ selbst eine lineare Interpolation nach dem Volumen- oder nach dem Gewichtsprocentgehalt eines Gasgemisches vornehmen könnte. Die Messungen Herrn J. Kapps zeigen aber, dass dies durchaus nicht der Fall ist; dass vielmehr beim Versuch, sie in dieser Weise darzustellen, starke systematische Abweichungen ohne Weiteres in die Augen springen. Die Abwesenheit systematischer Abweichungen bei der Darstellung von $1:(\varkappa - 1)$ als lineare Funktion von ε wurde controllirt und fand sich bestätigt nach den von F. R. Helmert in seiner Abhandlung: „Über die Genauigkeit der Kriterien des Zufalls bei Beobachtungsreihen" gegebenen Regeln (Sitz.-Ber. Berl. Akad. 25. V. 1905, pag. 594 bis 612), welche Theorie in Herrn J. Kapp's Dissertation eine eingehende Besprechung findet.

Nachdem durch seine Versuche die Richtigkeit der Beziehung (s. oben Seite 129):

$$\frac{1}{\varkappa - 1} = \frac{\varphi'}{\varkappa' - 1} + \frac{\varphi''}{\varkappa'' - 1}$$

sich bestätigt hatte, ging Herr J. Kapp dazu über, die von mir in meiner ersten Mitteilung (diese Sitz.-Ber. l. c. pag. 59) in Aussicht genommene Berechnung des $\varkappa$-Wertes von Luft aus denen ihrer Bestandteile auszuführen. Die vorstehende Formel lässt sich sogleich erweitern für ein Gemisch dreier und beliebig vieler Gase. Das eine der beiden bisher betrachteten Gase sei selbst wieder ein Gemisch zweier anderer; dann gilt zunächst für letzteres Gemisch, welches seinerseits aus den Volumenbruchteilen φ_2'' und φ_3'' zusammengesetzt sei:

$$\frac{1}{\varkappa'' - 1} = \frac{\varphi_2''}{\varkappa_2 - 1} + \frac{\varphi_3''}{\varkappa_3 - 1}$$

und durch Einsetzen:

$$\frac{1}{\varkappa - 1} = \frac{\varphi'}{\varkappa' - 1} + \frac{\varphi'' \cdot \varphi_2''}{\varkappa_2 - 1} + \frac{\varphi'' \cdot \varphi_3''}{\varkappa_3 - 1}$$

Dann ist $\varphi'' \cdot \varphi_2''$ derjenige Volumbruchteil des ganzen ternären Gasgemisches, welcher auf das 2. Gas entfällt; und $\varphi'' \cdot \varphi_3''$ derselbe Bruchteil für den 3. Bestandteil, welche Bruchteile (gleich den durch 100 dividirten Volumenprozenten) wir mit φ_2 und φ_3 bezeichnen wollen. Dann ist zunächst:

$$\frac{1}{\varkappa - 1} = \frac{\varphi_1}{\varkappa_1 - 1} + \frac{\varphi_2}{\varkappa_2 - 1} + \frac{\varphi_3}{\varkappa_3 - 1}$$

und allgemein für ein Gasgemisch:

$$\frac{1}{\varkappa - 1} = \sum_a \frac{\varphi_a}{\varkappa_a - 1}.$$

Will man diese Formel auf die Luft anwenden, so sind zwar die $\varkappa$-Werte für $O_2 = 1{,}3977$, für $CO_2 = 1{,}2995$ und $Ar = 1{,}6641$ durch Lummer und Pringsheim bezw. Niemeyer sicher bestimmt. Für N_2 dagegen liegen nur alte Bestimmungen von Cazin und von Masson vor, welche bei kritischer Betrachtung gar nicht zu einem absoluten Resultate führen, sondern nur auszusagen erlauben, dass innerhalb ihrer Sicherheitsgrenzen N_2 denselben $\varkappa$-Wert habe, wie O_2 und Luft. Nimmt man daher zunächst einmal in Ermangelung einer experimentellen Bestimmung als $\varkappa$-Wert für Stickstoff den theoretischen 1,4 für zweiatomige Gase an, so erhält man aus obiger Formel für Luft den Wert $\varkappa = 1{,}4009$ statt des von Lummer und Pringsheim direkt gefundenen 1,4025, also eine Abweichung, grösser als die Unsicherheit letzterer experimentellen Bestimmung. Man wird daher vorläufig richtiger verfahren, aus den direkt bestimmten $\varkappa$-Werten von Luft, O_2, CO_2 und Ar den von N_2 vermöge unserer abgeleiteten Formel zu berechnen. Man erhält alsdann für Stickstoff:

$$\varkappa = 1{,}4021.$$

Bei dieser Sachlage erhält es ein besonderes Interesse, eine direkte experimentelle Bestimmung von Kappa für Stickstoff vorzunehmen; Herr E. Rohlf hat die Vorbereitungen dazu im Institut bereits in Angriff genommen.

Sitzungsberichte

der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Nr. 9 **November** **1906**

In der Sitzung der Gesellschaft vom 14. November sprach Herr F. Schenck:

Über die physiologischen Grundlagen des Farbensinns.

Das Tatsächliche, was bisher über die Abhängigkeit der Farbenempfindungen von den aufs Auge einwirkenden Lichtern und über die Formen der auf mangelhafte Entwicklung zurückzuführenden angeborenen Farbenblindheit bekannt geworden ist, lässt sich zusammenfassen in verhältnismässig wenige, einfache und klare Sätze, die zu der Vermutung berechtigen, dass auch die den Farbenempfindungen zu Grunde liegenden physiologischen Einrichtungen einfache Verhältnisse aufweisen, dass insbesondere die grosse Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen auf eine nur kleine Zahl von physiologischen Grundprocessen zurückzuführen ist. Man hat sich auch vielfach bemüht, Theorien aufzustellen, durch welche man das Zustandekommen der vielen Farbenempfindungen aus wenigen Grundprocessen begreiflich zu machen suchte, aber das Bemühen ist noch nicht zu befriedigendem Abschlusse gelangt. Zwei Theorien sind es hauptsächlich, die einander gegenüber stehen: die Young-Helmholtz'sche Theorie und die Hering'sche Theorie. Beide haben ihre unbestreitbaren Vorzüge, beiden haften aber auch Mängel an, und es ist trotz eines grossen Aufwandes an Fleiss und Mühe bisher nicht gelungen, diese Mängel zu beseitigen. Um weitere erfolglose Arbeit unnötig zu machen, dürfte deshalb der Versuch angebracht erscheinen, eine Theorie ausfindig zu

machen, die die Vorzüge jener beiden Theorien vereinigt ohne ihre Mängel mit zu übernehmen, und die durch neue Fragestellungen für die weitere Forschung als Wegweiser dienen könnte. Ich glaube eine solche Theorie gefunden zu haben und will über dieselbe hier kurz berichten.

Um meine Theorie verständlich zu machen, muss ich etwas weiter ausholen und zunächst auseinandersetzen, welche Erwägungen zu den beiden erwähnten Theorien geführt haben.

Die Gesammtzahl aller Farbenempfindungen ist eine recht erhebliche. Wir können wohl an Zweiundert verschiedene Farbentöne von einander unterscheiden, die zum Teil im Spektrum in den Übergängen von Rot durch Gelb und Grün zu Blau und Violett vertreten sind, zum Teil durch Mischung langwelligen und kurzwelligen Lichtes in Form der Übergänge von Rot durch Purpur zu Violett zu erhalten sind.

Liegen nun diesen vielen verschiedenartigen Farbenempfindungen ebenso viele verschieden geartete physiologische Vorgänge zu Grunde? Das ist unwahrscheinlich. Wir kommen auch aus mit der Annahme einiger weniger Grundprocesse, welche die vielen verschiedenen Empfindungen dadurch hervorrufen, dass sie an dem den Empfindungen zu Grunde liegenden Vorgang in verschiedenem Verhältnisse beteiligt sind.

Über die geringste Zahl von Grundprocessen, mit denen wir auskommen, geben die Gesetze der Farbenmischung Aufschluss. Es hat sich da gezeigt, dass wir alle die möglichen verschiedenen Farbenempfindungen hervorrufen können, wenn wir Mischungen dreier Lichter, etwa eines roten, eines grünen und eines blauen Lichtes, auf das Auge einwirken lassen. Dementsprechend können wir drei Grundprocesse annehmen, von denen der erste am stärksten durch rotes, der zweite am stärksten durch grünes, der dritte am stärksten durch blaues Licht ausgelöst würde, und von denen der erste allein für sich die Empfindung Rot, der zweite Grün, der dritte Blau hervorruft. Gleichzeitige, aber ungleich starke Erregung der Grundprocesse würde Mischempfindungen hervorrufen, welche die anderen möglichen Farben-

empfindungen bilden, gleichstarke Erregung aller drei Grundprocesse würde die Empfindung Weiss bewirken.

Das ist der Grundgedanke der Young-Helmholtz'schen Theorie, und diese Theorie reicht auch aus für die Erklärung dessen, was man vom vollständig entwickelten Farbensinn weiss.

Aber die Theorie reicht nicht ohne Weiteres aus für die Erklärung der angeborenen Farbenblindheit. Diese beruht auf einer mangelhaften Entwicklung der Apparate des Farbensinnes. Die einfachste Annahme, die auch meist gemacht ist, ist die, dass die Farbenblindheit auf dem Fehlen eines oder zweier der Grundprocesse der Young-Helmholtz'schen Theorie beruht. Fehlt einer der Grundprocesse, so ist das Farbenunterscheidungsvermögen noch nicht ganz aufgehoben, aber bedeutend eingeschränkt; wir hätten dann eine partielle Farbenblindheit vor uns, und theoretisch sind, je nachdem der Rotprocess oder der Grünprocess oder der Blauprocess fehlt, drei Fälle von partieller Farbenblindheit möglich. Fehlen zwei Grundprocesse, so bleibt bloss eine Art von Empfindung übrig, es können dann verschiedene Farben nicht mehr unterschieden werden; wir hätten dann das vor uns, was man gewöhnlich totale Farbenblindheit nennt.

Entsprechen nun diese theoretisch construirten Typen der Farbenblindheit den tatsächlich vorkommenden? Die Antwort lautet „Nein" aus folgendem Grunde:

Ein Auge, in dem der Rotprocess fehlt, würde noch Grün und Blau und auch alle Übergänge von Grün durch Grünblau zu Blau empfinden können, nicht aber Rot sowie die Übergänge von Rot durch Gelb zu Grün und von Rot durch Purpur und Violett zu Blau; ferner würde diesem Auge die Empfindung Weiss fehlen, die ja durch gleichstarkes Zussmmenwirken aller drei Grundprocesse zustande kommen soll. Und ein Auge, dem der Grünprocess fehlt, würde analog nur Rot und Blau und die Übergänge von Rot zu Blau, nicht aber Grün und die Übergänge von Grün zu Rot und zu Blau, und auch nicht Weiss empfinden können. Tatsächlich ist aber bei der Form der

partiellen Farbenblindheit, bei der die Rotempfindung fehlt, auch zugleich die Grünempfindung nicht vorhanden, und die Empfindungen, die in diesem Falle noch übrig sind, sind Blau, Gelb und Weiss. Man nennt diese Form der partiellen Farbenblindheit, weil bei ihr die Rot- und Grünempfindung fehlen, auch meist kurz Rot-Grün-Blindheit; es ist die am häufigsten vorkommende Form der partiellen Farbenblindheit.

Dass dem so ist, davon kann sich jeder, der ein normales Auge hat, selbst leicht überzeugen. Im normalen Auge ist nämlich nur der centrale Teil der Netzhaut mit dem vollständigen Farbensinn ausgestattet, die peripheren Teile der Netzhaut sind farbenblind. Die äusserste Netzhautzone ist total farbenblind, die daran nach innen angrenzende Zone ist partiell farbenblind, und zwar rot-grün-blind. Wenn man daher farbige Lichter von passender Grösse an passendem Orte zur Seite des Auges aufstellt, so dass durch den dioptrischen Apparat des Auges die Lichter auf der rot-grünblinden Netzhautzone abgebildet werden, so kann man wahrnehmen, dass nur drei Lichter, nämlich ein gewisses gelbes, ein gewisses blaues und ein weisses, mit dieser Zone betrachtet gerade so aussehen, wie mit dem Netzhautcentrum betrachtet. Alle anderen Lichter nimmt diese Zone anders wahr als das Netzhautcentrum, und zwar erscheinen die dem Gelb im Spektrum benachbarten Lichter alle mehr oder weniger gesättigt gelb, die dem Blau im Spektrum benachbarten Lichter erscheinen mehr oder weniger gesättigt Blau, und ein gewisses Purpurrot sowie ein gewisses leicht bläuliches Grün erscheinen dieser Zone überhaupt ganz farblos. Das Spektrum besteht also für diese Zone aus einem überall in demselben Farbenton, wenn auch an verschiedenen Stellen in verschiedener Sättigung, gelb aussehenden Teile und einem auch überall in demselben Farbenton, wenn auch in verschiedener Sättigung blau aussehenden Teile; zwischen beiden Teilen liegt eine farblos aussehende Stelle, und zwar da, wo vom Netzhautcentrum ein leicht bläuliches Grün gesehen wird. Die Rotgrünblindheit kommt übrigens in nicht seltenen Fällen

auch im Netzhautcentrum vor, sie ist daher der Ausdruck einer mangelhaften Entwicklung des Farbensinnes.

Noch eine zweite, allerdings äusserst seltene Form der partiellen Farbenblindheit ist beobachtet worden, das ist die Blau-Gelb-Blindheit, bei der nur die Empfindungen Rot, Grün und Weiss vorhanden sind.

Die Erklärung der partiellen Farbenblindheit aus der Young-Helmholtz'schen Theorie in der vorhin vorgebrachten Weise stösst auf grosse Schwierigkeiten, weil das tatsächlich Beobachtete nicht dem, was zu erwarten war, entspricht. Die Schwierigkeiten hat man zwar zu umgehen gesucht durch die Annahme, dass bei mangelhafter Entwicklung der physiologischen Einrichtungen auch die psychologischen Vorgänge, d. s. die den physiologischen Process begleitenden in den Empfindungen erkennbaren Bewusstseinsphänomene von anderer Art, als in der Norm sein könnten, aber dass eine solche eigens nur zur Erklärung der Farbenblindheit gemachte, sonst nicht zu begründende Annahme wenig befriedigend ist, liegt auf der Hand.

Entsprechendes gilt für die totale Farbenblindheit. Hier sollte man bei der Annahme des Fehlens zweier Grundprocesse erwarten, dass entweder nur die Rot- oder nur die Grün- oder nur die Blauempfindung vorhanden wäre. Tatsächlich fehlt da aber jede Farbenempfindung, es ist nur die Empfindung Weiss resp. Grau vorhanden. Davon kann sich auch jeder Normale mit Hülfe seiner total farbenblinden äussersten Netzhautzone überzeugen. Mit dieser Zone betrachtet sehen alle Lichter farblos aus.

Für die Hering'sche Theorie scheinen auf den ersten Blick die Schwierigkeiten der Erklärung der Farbenblindheit nicht zu bestehen. Hering nimmt nämlich für die Farbenempfindungen vier Grundprocesse an, je einen für die Rot-, die Grün-, die Gelb- und die Blauempfindung. Ausserdem nimmt er noch besondere Grundprocesse für die farblosen Empfindungen, Weiss und Schwarz, an. Fehlt nun der Rotprocess und der Grünprocess, so ergiebt sich Rot-Grünblindheit, fehlt der Blauprocess

und der Gelbprocess, so ergiebt sich Blau-Gelb-Blindheit, fehlen alle vier Grundprocesse für die Farbenempfindungen, so ergiebt sich totale Farbenblindheit.

Dass bei der Farbenblindheit die Grundprocesse immer in der angegebenen Art paarweise fehlen — der Rot- und der Grünprocess immer zusammen, und auch der Blau- und der Gelbprocess immer zusammen, wird darauf zurückgeführt, dass jedes Paar so zusammengehöriger Grundprocesse sich in je einem Gebilde oder, wie wir zu sagen pflegen, in je einer Sehsubstanz abspielen. Wir hätten somit für den Rot- und Grünprocess nur eine Rot-Grün-Sehsubstanz, deren Fehlen Rot-Grün-Blindheit bedingt, und wir hätten für den Blau- und den Gelbprocess nur eine Blau-Gelb-Sehsubstanz, deren Fehlen Blau-Gelb-Blindheit bedingt. Die beiden Grundprocesse, die in ein und derselben Sehsubstanz sich abspielen, sollen von entgegengesetzter Art sein, so dass sie sich hinsichtlich des Zustandekommens der zugehörigen Farbenempfindung gegenseitig hemmen. Halten die beiden Grundprocesse sich gegenseitig das Gleichgewicht, so bleiben daher die Farbenempfindungen aus, überwiegt einer über den anderen, so kommt die dem überwiegenden Grundprocess zugehörige Farbenempfindung zustande. In entsprechender Weise soll auch die Weiss-Schwarz-Sehsubstanz zweier Grundprocesse fähig sein.

Bei oberflächlicher Betrachtung scheint, wie gesagt, die Hering'sche Theorie den Tatsachen der Farbenblindheit vollständig gerecht zu werden. Aber abgesehen von gewissen Schwierigkeiten, die sich der speziellen Ausgestaltung dieser Theorie entgegenstellen, kommt sie doch auch nicht einmal mit der Farbenblindheit zurecht. Bei der Rot-Grün-Blindheit liegen die Verhältnisse nämlich nicht so einfach, wie nach dem vorhin Gesagten scheinen könnte. Wie v. Kries durch sorgfältige Untersuchungen sicher festgestellt hat, giebt es nämlich zwei scharf von einander zu sondernde Typen von Rot-Grün-Blindheit — und das kann die Hering'sche Theorie nicht ohne Weiteres erklären.

Die beiden Arten von Rot-Grün-Blindheit, die mit den Namen Protanopie und Deuteranopie bezeichnet werden, unterscheiden sich hauptsächlich dadurch, dass beim Protanopen eine auffallend geringe Empfindlichkeit gegen sehr langwelliges Licht besteht, während der Deuteranop etwa dieselbe Empfindlichkeit gegen solches Licht hat, wie der Normale. Das äussert sich darin, dass für den Protanopen rotes Licht ganz dunkel ist; wir pflegen zu sagen, das rote Ende des Spektrums erscheint dem Protanopen verkürzt. Gegen die Lichter, deren Wellenlänge zwischen 600 und 500 $\mu\mu$ liegen, ist dagegen der Protanop relativ empfindlicher als der Deuteranop. Ferner liegt die neutrale Stelle im Spektrum für den Protanopen durchschnittlich bei einem Lichte von etwas kleinerer Wellenlänge, als für den Deuteranop.

Zur Deuteranopie gehört auch die Rot-Grün-Blindheit in der Netzhautperipherie des normalen Auges.

Für die Erklärung dieser Tatsachen versagt die Hering'sche Theorie. Übrigens sei hier schon kurz bemerkt, dass es auch verschiedene Typen der totalen Farbenblindheit giebt, über die die Hering'sche Theorie auch keine Rechenschaft zu geben vermag; ich komme darauf nachher zurück.

Wenn also die von der Young-Helmholtz'schen und Hering'schen Theorie gegebenen Erklärungen der Farbenblindheit nicht zureichen, so werden wir eine andere Erklärung suchen müssen. Wir wollen dabei ausgehen von der Young-Helmholtz'schen Theorie, die ja für die Erklärung des normalen Farbensinnes des Netzhautcentrums die einfachste ist, und zusehen, wie wir uns die Grundprocesse geändert denken müssen, damit eine bestimmte Form der partiellen Farbenblindheit, nämlich die auch im normalen Auge vorhandene Deuteranopie, resultirt. Bei der Deuteranopie fehlt die Rot- und Grünempfindung, es ist aber die Gelbempfindung vorhanden. Welche Beziehungen bestehen zwischen diesen Empfindungen? Nun die Gelbempfindung ist die Mischung der Rot- und Grünempfindung; die Gelbempfindung tritt nach der Young-Helmholtz'schen Theorie auf, wenn der Rotprocess

und der Grünprocess gleichzeitig gleichstark hervorgerufen werden. Also unter der Annahme, dass der Rotprocess und der Grünprocess immer gleichstark erregt werden, oder mit anderen Worten, dass die Rotsehsubstanz und die Grünsehsubstanz gleiche Erregbarkeit besitzen, einerlei von welcher Art das einwirkende Licht ist, können wir die Rotgrünblindheit erklären. Denn dass ausser der Gelbempfindung dann noch die Blauempfindung, und dass durch Mischung von Gelb und Blau auch noch die Weissempfindung möglich ist, folgt ohne weitere Zusätze aus der Theorie.

Derselbe Gedankengang führt aber noch zu anderen Formen von partieller Farbenblindheit. Nehmen wir eine Übereinstimmung der Erregbarkeit der Grünsehsubstanz und der Blausehsubstanz an, so erhalten wir das, was als Blaugelbblindheit zu bezeichnen wäre, denn es bleiben dann die Empfindungen Rot, Weiss und Grünblau übrig. Und die Übereinstimmung der Erregbarkeit der Rotsehsubstanz und der Blausehsubstanz führt — so scheint es wenigstens auf den ersten Blick — zur Protanopie.

Und schliesslich kommen wir auch so zur totalen Farbenblindheit. Wir müssen nämlich hierfür nur annehmen, dass alle drei Sehsubstanzen gleiche Erregbarkeit besitzen. Dann werden Rot-, Grün- und Blauprocess alle drei immer gleichstark erregt, es kann nur die Weissempfindung zu stande kommen.

Der hier entwickelte Gedankengang ist nicht neu; er ist schon vor langer Zeit von Adolf Fick ausgesprochen worden. Aber die Fick'sche Theorie der Farbenblindheit hat wenig Anklang gefunden und ist kaum beachtet worden. Dies liegt, wie mir scheint, hauptsächlich daran, dass Fick in seinen kurzen Veröffentlichungen nicht versucht hatte, seine Theorie entwicklungsgeschichtlich begreiflich und wahrscheinlich zu machen, und insbesondere auch nicht Aufschluss darüber verschafft hatte, warum gerade die scharf von einander zu scheidenden Typen der Farbenblindheit ohne Übergangsformen auftreten. Übrigens vermag die Fick'sche Theorie auch nicht alle Typen von Farbenblindheit ohne Umgestaltungen und Ergänzungen zu erklären,

z. B. doch nicht die Protanopie und auch nicht einige Formen der totalen Farbenblindheit.

Um den Grundgedanken der Fick'schen Theorie fruchtbar zu machen, bedarf er also einiger Ergänzungen. Ich glaube einen Weg der Umgestaltung der Fick'schen Theorie gefunden zu haben, auf dem man allen Anforderungen gerecht wird, und ich will hierüber berichten. Hierin liegt das eigentlich Neue des Inhaltes meiner Abhandlung.

Wenn wir uns zunächst der Frage zuwenden, in welcher Weise der Grundgedanke der Fick'schen Theorie entwicklungsgeschichtlich verständlich zu machen ist, so gehen wir aus von dem Satze, dass die normalen Farbenblindheiten der Netzhautperipherie frühe Entwicklungsstufen in der normalen Entwicklung des Farbensinnes darstellen. Dieser Satz dürfte wohl kaum auf Widerspruch stossen, weil auch andere Tatsachen, z. B. die Verschiedenheiten der Sehschärfe darauf hinweisen, dass die Netzhautmitte in der Entwicklung am weitesten vorgeschritten ist. Wir haben also zu folgern, dass bei der normalen Ausbildung des vollständigen Farbensinnes, d. i. des Rot-, Grün- und Blausinnes im Sinne der Young-Helmholtz'schen Theorie, zwei Entwicklungsstadien durchlaufen werden, ein früheres, in dem bloss der Weisssinn, und ein mittleres, in welchem dazu noch der Gelbsinn und der Blausinn aber noch nicht der Rot- und Grünsinn existieren. Gehen wir also vom vollständig entwickelten Farbensinn nach rückwärts, so treffen wir auf ein Stadium, in dem zwar der Blausinn schon fertig ist, in welchem aber das, was später den Rotsinn und den Grünsinn ausmacht, noch im Gelbsinn vereinigt ist. Nach Fick soll dieses Entwicklungsstadium darauf beruhen, dass der Rotsinn und der Grünsinn immer gleichstark, also nicht unabhängig von einander erregt werden. Wie können wir uns dies nun in einfachster Weise vorstellen? Die einfachste Annahme würde offenbar die sein, dass das, was später in Rotsehsubstanz und Grünsehsubstanz getrennt vorhanden

ist, auf der mittleren Entwicklungsstufe fest vereinigt und physiologisch verknüpft ist in einer Sehsubstanz, welche zwar die Anlagen der späteren Rotsehsubstanz und Grünsehsubstanz schon in sich enthalten mag, welche aber immer im Ganzen erregt wird, und welche bei ihrer Erregung die Gelbempfindung liefert. Durch Teilung der ursprünglich einheitlichen Gelbsehsubstanz in zwei functionell verschiedene Teile würde dann die Rotsehsubstanz und die Grünsehsubstanz entstehen.

Zur Vervollständigung des Gesagten sei noch bemerkt, dass die Rotsehsubstanz und die Grünsehsubstanz zusammen, auch wenn sie schon von einander getrennt sind, doch insofern die Eigenschaft ihrer Muttersubstanz behalten, als sie, wenn gleichzeitig und gleichstark erregt, die Empfindung der Muttersubstanz, d. i. Gelb als Mischempfindung liefern.

Der Annahme einer solchen Teilung stehen Bedenken, die sich auf entwicklungsbiologische Erwägungen gründen würden, nicht nur nicht entgegen, sondern diese Annahme hat sogar grosse Wahrscheinlichkeit für sich, wenn man berücksichtigt, das auch andere Vorgänge bekannt sind, bei denen durch Teilung verbunden mit Differenzierung aus ursprünglichen morphologischen oder physiologischen Einheiten mehrere differente Gebilde entstehen. Ich erinnere betreffs dessen an die allbekannten morphologischen Erscheinungen der Zellteilung und Zelldifferenzierung; diesen Teilungen analog würde die Teilung der Gelbsehsubstanz in die Rotsehsubstanz und Grünsehsubstanz sein.

Ja es will mir scheinen, die Annahme, dass die Rot- und Grünsehsubstanz durch Teilung aus einer Gelbsehsubstanz entstehen, entspräche sogar besser unseren entwicklungsgeschichtlichen Grundanschauungen als etwa eine Annahme, dass bei dem Übergang aus dem mittleren Entwicklungsstadium in das endgültige die Rot- und Grünsehsubstanz zu den schon vorhandenen Sehsubstanzen neu hinzukommen. Wenn man die bekannten entwicklungsgeschichtlichen Sätze „omnis cellula e cellula“ und „omnis nucleus e nucleo“ tiefer fasst und verallgemeinert, so ergiebt sich ja gerade die auch in der vorgebrachten Auffassung zum Ausdruck

kommende Anschauung, dass die in einem späteren Stadium auftretenden Gebilde in der Anlage schon bei den früheren Gebilden vorhanden sein müssen. [1])

Von der ursprünglichen Fick'schen Auffassung weicht nun allerdings die hier vorgetragene Lehre nicht unerheblich ab. Fick nahm die Rotsehsubstanz und die Grünsehsubstanz bei der Rotgrünblindheit als gesondert bestehend an und schrieb ihnen nur gleiche Erregbarkeit zu, wir erkennen das getrennte Bestehen dieser Substanzen nicht an, sondern sprechen nur noch von einer Gelbsehsubstanz. Aber der Grundgedanke der Fick'schen Theorie ist doch bei unserer Lehre vorhanden insofern, als auch für die Fick'sche Theorie hinsichtlich der zustande kommenden Empfindungen bei der Rot-Grün-Blindheit eine Sonderung des Rotsinnes und des Grünsinnes tatsächlich nicht existiert, sondern nur ein Gelbsinn ins Spiel tritt.

Besonders hervorzuheben ist aber, dass hinsichtlich der Erklärung der Rot-Grünblindheit unsere Theorie auch den eigentlichen Grundgedanken der Hering'schen Theorie enthält. Hering nimmt, gerade so wie wir, von den Farbensinnen nur das Bestehen eines Gelbsinnes und eines Blausinnes bei der Rot-Grün-Blindheit an. Dass wir den Gelbprozess und den Blauprozess in zwei verschiedenen Sehsubstanzen sich abspielen und die beiden Prozesse zusammen Weissempfindung geben lassen, während Hering die beiden Prozesse einer und derselben Substanz zuschreibt und

1) Übrigens sei hier eingeschaltet, dass eine Sehsubstanz zusammengesetzt sein muss aus drei Gebilden, nämlich der peripher gelegenen lichtempfindlichen Substanz, der zugehörigen erregungsleitenden Nervenfaser und der zugehörigen Zelle im Zentralnervensystem, in der die Empfindung zustande kommt. Ob die von uns angenommenen Teilungsvorgänge nur in dem peripheren Gebilde oder auch in dem nervösen Apparate sich abspielen, muss dahin gestellt bleiben. Möglich wäre es, dass die Teilung sich nicht auf den nervösen Apparat erstreckt, da in ein und derselben Nervenfaser, resp. Nervenzelle Erregungen möglich sind, die in irgend einer Weise, z. B. hinsichtlich des Rhythmus ihres Verlaufes verschieden sein könnten, und die dementsprechend auch verschiedene Empfindungen hervorrufen könnten. Die verschiedenen Empfindungen einer Nervenzelle können also auf Verschiedenheiten der zugehörigen peripheren Organe allein beruhen.

für die Weissempfindung noch eine besondere Sehsubstanz annimmt, ist für den Grundgedanken bei der Erklärung der Rot-Grün-Blindheit von untergeordneter Bedeutung.

Warum giebt es nun keine Übergänge zwischen der Rot-Grün-Blindheit und dem vollständig ausgebildeten Farbensinn? Die Antwort ist leicht: entweder besteht noch die Verbindung zwischen Rot- und Grünsehsubstanz, dann besteht auch noch der Gelbsinn allein, oder die Verbindung ist getrennt, dann ist der Rotsinn und der Grünsinn fertig. Übergänge brauchen da also gar nicht zu existieren.

Wie bei dem Übergang von der mittleren Entwicklungsstufe zu der endgültigen die Teilung der Gelbsehsubstanz in die Rot- und Grünsehsubstanz erfolgt, so soll in genau entsprechender Weise auch bei dem Übergang aus der frühen Entwicklungsstufe in die mittlere eine Teilung erfolgen, bei welcher aus einer ursprünglichen Weisssehsubstanz die Gelb- und die Blausehsubstanz, die wir auf der mittleren Entwicklungsstufe treffen, sich bilden. Unter Bezugnahme auf das über die Teilung des Gelbsinnes Gesagte brauche ich mich in eine eingehende Erörterung der Teilung des Weisssinnes nicht mehr einzulassen, und hebe nur besonders hervor, dass wir also die totale Farbenblindheit der Netzhautperipherie darauf zurückführen, dass hier nur eine Weisssehsubstanz vorhanden ist. Wir geben also hier wieder die Erklärung, die in ihrem Grundgedanken mit Herings's Theorie übereinstimmt. Dass Hering seiner Weisssehsubstanz auch noch einen die Schwarzempfindung vermittelnden Prozess zuschreibt, ist von nebensächlicher Bedeutung.

Wir können also die drei Entwicklungsstufen: totale Farbenblindheit der Netzhautperipherie, Deuteranopie und vollständig entwickelten Farbensinn, sowie die Beziehungen der Entwicklungsstufen zu einander durch eine ganz auf dem Boden unserer entwicklungsbiologischen Grundanschauungen stehende Theorie erklären, welche annimmt, dass zuerst aus dem ursprünglich vorhandenen Weisssinn durch Aufteilung sich der Blau- und der Gelbsinn bilden, und dass dann aus dem Gelbsinn der Rot-

und Grünsinn entstehen; den bei jeder der Teilungen entstehenden beiden Teilen zusammen kommt aber noch der Charakter des Sinnes zu, aus dem sie entstanden sind.

Nun müssen wir uns aber noch mit den anderen Arten von Farbenblindheit abfinden. Wenden wir uns zunächst zu der anderen Art der Rot-Grün-Blindheit, der Protanopie.

Nach dem vorhin Gesagten würde die Protanopie im Sinne der Fick'schen Theorie auf einer Übereinstimmung der Erregbarkeit der Rot- und der Blausehsubstanz beruhen. (Der dritte mögliche Fall: Übereinstimmung der Erregbarkeit der Grün- und Blausehsubstanz giebt die Blau-Gelb-Blindheit). Im Sinne unserer Auffassung müssten wir für die Protanopie eine abnorme Teilung annehmen, bei welcher der ursprüngliche Weisssinn sich zunächst aufteilt in einen Grünsinn und einen die Empfindung des Purpur vermittelnden Sinn; auf dieser Entwicklungsstufe würde dann die Netzhaut stehen bleiben. Bei oberflächlicher Betrachtung scheint diese Auffassung auch zulässig zu sein, eingehende Erwägungen führen aber zu allerlei Schwierigkeiten.

Zunächst erscheint es schon bedenklich, bei einem Individuum, das rot-grün-blind ist, das Vorhandensein der Empfindungen Grün und Purpur anzunehmen. Auch liegt die neutrale Stelle im Spektrum des Protanopen an einem anderen Orte, als nach der erwähnten Auffassung zu erwarten ist. Wir sollten nämlich erwarten, dass diese Stelle in der Mitte des Überganges von Grün durch Grünblau, Blau und Violett zu dem an das Violett anschliessend gedachten Purpur liegt; sie würde also nahe dem Blau zu liegen kommen. Tatsächlich liegt sie aber dem Grün näher. Auch wäre zu erwarten, dass diese neutrale Stelle ziemlich weit gegen das kurzwellige Ende des Spektrums hin entfernt von der Stelle liegt, die der Deuteranop neutral sieht. Tatsächlich liegen durchschnittlich die neutralen Stellen für die beiden Fälle so wenig weit von einander entfernt, dass die Unterschiede der Lage durch individuelle Abweichungen vom Mittel oft ganz verdeckt werden.

Was aber hauptsächlich gegen die in Rede stehende Erklärung der Protanopie vorzubringen ist, und was auch zugleich den Weg weist, auf dem wir zu einer den Tatsachen besser entsprechenden Erklärung der Protanopie gelangen, das ist der Unterschied der Helligkeitsverteilung im Spektrum bei der Deuteranopie und der Protanopie.

Die Farben des Spektrums erscheinen uns verschieden hell. Für den normalen vollständig entwickelten Farbensinn liegt die hellste Stelle im Gelbgrün; von da nach beiden Seiten gegen die Enden hin nimmt die Helligkeit ab. Die gleiche Helligkeitsverteilung findet sich auch bei der Deuteranopie und bei der totalen Farbenblindheit der Netzhautperipherie. Worauf ist diese Übereinstimmung unserer Theorie nach zurückzuführen?

Das, was wir bei einer Lichtempfindung die Helligkeit nennen, wollen wir ansehen als abhängig von der Gesamtsumme der Intensitäten der einzelnen Erregungsprozesse, die der Empfindung zu Grunde liegen. Wenn wir also in den erwähnten drei Fällen Übereinstimmung der Helligkeitsverteilung im Spektrum finden, so ist zu folgern, dass in allen drei Fällen gleiche Abhängigkeit der Summe der Erregungen von der Wellenlänge des Lichtes besteht. Wie das im Sinne unserer Theorie zu verstehen ist, muss noch an einzelnen Beispielen erläutert werden. Ein Licht von einer bestimmten Wellenlänge, welches beim vollständig entwickelten Farbensinn etwa eine starke Erregung des Rotprozesses und eine schwache des Grünprozesses hervorruft, muss bei Deuteranopie eine Erregung des Gelbprozesses bewirken von solcher Grösse, das diese gleich der Summe jener Erregungen des Rot- und des Grünprozesses bei vollständig entwickelten Farbensinn ist. Oder: ein Licht von einer bestimmten Wellenlänge, das beim vollständig entwickelten Farbensinn sowohl den Rot-, als den Grün-, als den Blauprozess hervorruft, aber in verschiedener Stärke, muss in der total farbenblinden Netzhautzone eine Erregung des Weissprozesses hervorrufen von solcher Grösse, dass diese gleich der Summe jener Erregungen des Rot-, Grün- und Blauprozesses bei vollständig entwickeltem Farbensinn sind.

Eine solche Auffassung, die übrigens auch schon in der alten Fick'schen Theorie steckt, ist bei unserer Theorie nicht nur nicht bedenklich, sondern sie erscheint sogar recht annehmbar, wenn man berücksichtigt, dass jeweils in der Muttersubstanz die Tochtersubstanzen zusammen enthalten sind.

Vielleicht ist es von Vorteil, das Gesagte noch durch einen Vergleich zu veranschaulichen. Ich will die drei Sehsubstanzen vergleichen mit drei nebeneinanderstehenden Kugeln. Jede der drei Kugeln möge nun durch einen Stoss in Bewegung gesetzt werden, die drei Stösse seien aber verschieden stark. Die verschiedene Stärke der Stösse entspricht der Verschiedenheit der Reizwerte, welche ein Licht für die drei Sehsubstanzen hat. Jede Kugel erhält durch den Stoss eine gewisse Bewegungsenergie. Es ist nun klar, dass die Summe der Energien gleich ist der Energie, die die drei Kugeln zusammen durch die Stösse erhalten würden, wenn die Kugeln vor dem Anstossen fest, unbeweglich gegeneinander zusammengebunden würden. Die Bewegungsenergie der Kugeln entspricht aber dem, was bei den Sehsubstanzen Erregungsgrösse ist.

Für unsere weiteren Betrachtungen folgt, dass die von uns bei der Entwicklung des Farbensinnes angenommen Teilungsvorgänge sich so vollziehen, dass die Abhängigkeit der Gesamterregung von der Wellenlänge unverändert bleibt. Wir hätten demnach auch bei Protanopie dieselbe Helligkeitsverteilung im Spektrum, wie beim voll entwickelten Farbensinn zu erwarten, falls wir die Protanopie auch nur auf eine mangelhafte Teilung der Sehsubstanzen zurückführen wollten. Tatsächlich ist die Helligkeitsverteilung beim Protanopen aber eine andere — und daraus folgt, dass wir ausser einer mangelhaften Teilung noch ein anderes Erklärungsprinzip zu Hülfe ziehen müssen.[1])

1) Übrigens muss, soweit ich ersehe, aus den erwähnten Verschiedenheiten der Helligkeitsverteilung ganz allgemein, unabhängig von irgend einer speciellen Theorie, der Schluss gezogen werden, dass die Protanopie und die Deuteranopie auf Entwicklungsstörungen von grundsätzlich verschiedener Art beruhen.

Der Protanop ist gegen sehr langwellige Lichter unempfindlich, er sieht das rote Ende des Spektrums überhaupt nicht Auch liegt für ihn die hellste Stelle im Spektrum dem Grün näher, als für den Deuteranopen.

Wodurch könnten wir die Unterschiede zwischen dem Protanopen und dem Deuteranopen erklärlich machen? Beide sind rot-grün-blind; nehmen wir daher für beide das Vorhandensein nur der Gelb- und der Blausehsubstanz an. Welche Eigenschaften müssten diesen Substanzen zugeschrieben werden, um die Unterempfindlichkeit des Protanopen gegen sehr langwellige Lichter begreiflich zu machen? Nun die Blausehsubstanz kommt für die Erregung durch langwelliges Licht kaum in Betracht, sie darf in beiden Fällen als von gleicher Beschaffenheit angenommen werden. Aber die Erregbarkeit der Gelbsehsubstanz muss verschieden sein; sie muss beim Protanopen für sehr langwelliges Licht viel geringere Empfindlichkeit besitzen, als beim Deuteranopen.

Mit dieser Annahme kommen wir zur Erklärung des Unterschiedes der Protanopie und Deuteranopie vollständig aus; es erübrigt aber noch auseinanderzusetzen, wie diese Annahme entwicklungsgeschichtlich verständlich zu machen ist.

Wir vermögen dies, wenn wir jetzt noch eine bisher nicht besprochene Form der totalen Farbenblindheit mit berücksichtigen, und zwar die totale Farbenblindheit, die sich auf der äussersten Netzhautzone gerade des Protanopen zeigt.

Der Protanop ist nämlich auf der äussersten Netzhautzone auch total farbenblind, aber die hier vorkommende totale Farbenblindheit unterscheidet sich in charakteristischer Weise von der totalen Farbenblindheit der Netzhautperipherie des normalen und des deuteranopischen Auges. Es besteht für die total farbenblinde Zone nämlich derselbe Unterschied der Helligkeitsverteilung im Spektrum, wie er auch für die centralen Netzhautteile beim Protanopen einerseits, beim Normalen und beim Deuteranopen andererseits vorhanden ist. Die äusserste Netzhautzone des Protanopen ist also auch unterempfindlich gegen sehr lang-

welliges Licht; die hier vorkommende Weisssehsubstanz müsste also geradeso von der Weisssehsubstanz des normalen und deuteranopischen Auges verschieden sein, wie auch die Gelbsehsubstanz des Protanopen von der des deuteranopischen Auges verschieden sein muss. Wir müssen also zwei Arten von Weisssehsubstanzen annehmen: eine gegen sehr langwelliges Licht wenig empfindliche in der Netzhautperipherie des Protanopen vorkommende, und eine gegen langwelliges Licht empfindlichere, in der Netzhautperipherie des Normalen und des Deuteranopen vorkommende Weisssehsubstanz. Bei der Teilung der Weisssubstanzen würden die den Unterschied bedingenden Eigentümlichkeiten an dem einen der entstehenden Teile, der Gelbsehsubstanz haften bleiben.

Welche entwicklungsgeschichtlichen Beziehungen bestehen nun zwischen diesen beiden Arten von Weisssehsubstanzen? Wir werden wohl annehmen müssen, dass diese Substanzen beide von ein und derselben Ursehsubstanz abstammen, aus der sie sich durch Differenzierung entwickelt haben. Das am weitesten vorgerückte Stadium der Differenzierung dürfte die Weisssehsubstanz des normalen Auges darstellen, weil aus dieser sich der weitere vollständige Farbensinn entwickelt. Die Weisssehsubstanz des Protanopen steht der Ursehsubstanz also wohl noch näher; die Differenzierung der Ursehsubstanz wird demnach darin bestanden haben, dass eine ursprünglich durch langwelliges Licht wenig erregbare Substanz eine grössere Empfindlichkeit für dieses Licht annahm.

Der Annahme einer solchen Differenzierung stehen Bedenken prinzipieller Art nicht entgegen. Die photographische Technik macht uns ja mit solchen Vorgängen bekannt. Die gewöhnliche photographische Platte ist auch, wie unsere Ursehsubstanz, für rotes Licht unempfindlich; um sie für rotes Licht empfindlich zu machen, oder um sie, wie der Photograph sagt, panchromatisch zu machen, wird sie mit einem Sensibilisator für rotes Licht versehen. In Anlehnung an die photographische Nomenklatur können wir den von uns angenommenen Vorgang der Differen-

zierung der Ursubstanz demnach als Panchromatisation bezeichnen. Diese Panchromatisation besteht vielleicht auch darin, dass sich in der Ursehsubstanz ein Sensibilisator für rotes Licht entwickelt.

Die vollständige Panchromatisation geht in der Regel der ersten Teilung der Weisssehsubstanz voraus, indess sind die beiden Vorgänge in ihrer zeitlichen Folge doch bis zu einem gewissen Grade unabhängig von einander. Es kann daher der erste Teilungsvorgang schon statt haben, ohne dass die Panchromatisation vorausgegangen ist, und wenn dies der Fall ist, dann entsteht gerade die Protanopie.

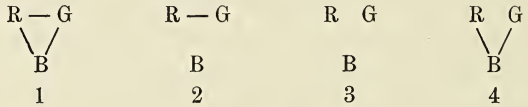
Für die Hypothese der Panchromatisation lassen sich noch andere Wahrscheinlichkeitsgründe anführen. Es kommt nämlich in gewissen Teilen auch der normalen Netzhaut eine Weisssehsubstanz vor, die ähnliche Eigenschaften hat, wie die von uns angenommene Ursehsubstanz, und die Teile, in welchen jene Weisssehsubstanz vorkommt, sind gerade diejenigen, die auf einer niedrigen Entwicklungsstufe stehen. Die lichtempfindliche Schicht der Netzhaut ist zusammengesetzt aus anatomisch unterscheidbaren Gebilden, den Zapfen und den Stäbchen. Es ist nun durch v. Kries gezeigt worden, dass den Zapfen und Stäbchen verschiedene Funktionen zukommen. Die Zapfen stellen den Apparat dar, mit dem wir vorwiegend im hellen Tageslicht sehen, die Stäbchen dienen dagegen zur Beobachtung schwacher Lichter in der Dämmerung. Alles was ich bisher über Farbenempfindung und Farbenblindheit gesagt habe, bezieht sich auf das Sehen im Hellen, trifft also für das Sehen mit den Zapfen zu. Die Zapfen sind demnach, wenigstens im Netzhautcentrum des normalen Auges mit dem vollständig entwickelten Farbensinn ausgerüstet, sie stehen also auf der höchsten Entwicklungsstufe. Die Stäbchen erreichen diese hohe Entwicklungsstufe nie, sie sind total farbenblind. Wir erkennen nämlich bei der Beobachtung schwacher Lichter in der Dämmerung überhaupt keine Farben, sondern nur ein mehr oder weniger helles Grau.

Über die Abhängigkeit der Erregung der Stäbchensehsubstanz von der Wellenlänge kann man sich leicht orientiren, wenn man ein lichtschwaches Spektrum in der Dämmerung beobachtet. Man kann dann feststellen, dass die langwelligen Lichter, Rot und Orange, überhaupt nicht gesehen werden, und dass die hellste Stelle im Spektrum etwa da liegt, wo im Hellen das Blau gesehen wird. Von der Zapfen-Weisssehsubstanz in der Peripherie der normalen Netzhaut ist also die Stäbchen Weisssehsubstanz in demselben Sinne verschieden, wie auch die Zapfen-Weisssehsubstanz der Peripherie der protanopischen Netzhaut. Wenn also in den auf niedriger Entwicklungsstufe stehenden Stäbchen eine gegen langwelliges Licht unempfindliche Weisssehsubstanz vorhanden ist, und wenn weiter die Annahme nicht von der Hand zu weisen ist, dass auch diese Substanz einer ursprünglich für Stäbchen und Zapfen gleichartigen Ursehsubstanz entstammt, so haben wir einen gewichtigen Grund mehr für die Annahme, dass die Weisssehsubstanz in der Peripherie der normalen Netzhaut durch Panchromatisation aus der Ursehsubstanz hervorgegangen ist.

Da übrigens die Stäbchensehsubstanz für gelb-grünes Licht sogar weniger empfindlich ist, als die protanopische Zapfen-Weisssehsubstanz, so müsste angenommen werden, dass die Panchromatisation in zwei Stufen erfolgt: die mit der Stäbchensehsubstanz übereinstimmende Ursehsubstanz, die hauptsächlich für blaugrünes Licht empfindlich ist, wird zuerst für grünes und gelbes Licht empfindlicher; so entsteht zunächst eine Sehsubstanz von der Art der protanopischen Zapfen-Weisssehsubstanz, und diese würde dann für rotes Licht sensibilisirt.

Es bleibt jetzt noch die Erörterung der Frage übrig, wie die Blau-Gelb-Blindheit im Sinne unserer Theorie zu erklären ist. Man kommt da wohl mit der Annahme aus, dass der Teilungsvorgang der Weisssehsubstanz einen abnormen Verlauf genommen hat, und zwar dass diese Substanz sich aufgeteilt hat in eine Rotsehsubstanz und eine zweite Sehsubstanz, welche die

spätere Grün- und Blausubstanz noch vereinigt enthält, und dass die Netzhaut auf dieser Entwicklungsstufe stehen geblieben ist. Aber vielleicht liegen die Verhältnisse doch noch complicirter. Von der Blau-Gelb-Blindheit, die äusserst selten vorkommt, ist bisher nur ein einziger Fall exact untersucht worden, und da hat sich gezeigt, dass nicht bloss Blau-Gelb-Blindheit vorhanden war sondern auch eine gewisse Schwäche des Rotsinnes und des Grünsinnes, so dass dieser Fall eine Annäherung an die totale Farbenblindheit darstellt. Wenn das die Regel sein sollte, dann muss eine andere Erklärung gesucht werden, und ich glaube sie in Folgendem gefunden zu haben: Man nehme an, dass der zweite der normalen Teilungsvorgänge schon eingesetzt hat und zu Ende geführt ist, ehe der erste ganz beendigt war, und dass das Auge auf dieser Entwicklungsstufe stehen geblieben ist. Die Möglichkeit eines in dieser Weise abnorm verlaufenden Teilungsprocesses kann nicht geleugnet werden; wir können sie uns in folgender Weise durch schematische Darstellung veranschaulichen: Der eigentlichen Teilung möge vorangehen eine Ausbildung und Differenzirung der Anlagen der drei zu bildenden Sehsubstanzen in der zunächst noch ungeteilten Muttersubstanz.



In der schematischen Darstellung Fig. 1 seien die drei Teile, die Rot-, Grün- und Blausehsubstanz, in ihren differenzirten Anlagen repräsentirt durch die drei Buchstaben R, G und B; die Anlagen seien zunächst noch verbunden, die Verbindungen sind markirt durch die Striche zwischen den Buchstaben. Wenn die Teilung normal verläuft, würde also zunächst B sich von R und G abtrennen: das hierdurch erreichte Entwicklungsstadium ist in Fig. 2 dargestellt, und dann würde, wie durch Fig. 3 dargestellt, die Trennung von R und G erfolgen. Nun könnte aber auch einmal in Folge abnormen Verlaufes der durch Fig. 4 dargestellte Fall eintreten, dass R von G sich schon trennt ohne dass die

Abtrennung des B von den beiden anderen vorausgegangen ist. Dann wäre die Rotsehsubstanz mit der Grünsehsubstanz nicht mehr direkt verbunden, jede aber noch durch eine Verbindungsbrücke in Verbindung mit der Blausehsubstanz. Wenn dann ein blaues Licht einwirkt, dann wird zunächst die Blausehsubstanz erregt, aber von ihr würde die Erregung durch die Verbindungsbrücken auf die Rot- und Grünsehsubstanz übertragen: es resultirt die Empfindung Weiss. Wirkt ein gelbes Licht ein, so würde auch die Empfindung weiss entstehen, weil zwar zunächst die Rot- und Grünsehsubstanz, jede für sich und beide gleichstark erregt werden, aber die Erregung durch die Verbindungsbrücken auch auf die Blausehsubstanz übertragen würde. Wirkt aber ein rotes Licht ein, so würde zunächst die Rotsehsubstanz stark erregt, die Erregung könnte von da, weil sie nur auf einer der beiden Verbindungsbrücken übertragen wird, vielleicht nicht in starkem Maasse auf die Blausehsubstanz und weiter auf die Grünsehsubstanz übertragen werden. Es würde eine zwar rötliche Empfindung resultiren, die aber wegen der erheblichen Mitbeteiligung des Blau- und Grünprocesses wenig gesättigt erschiene. Entsprechend ergäbe sich bei Einwirkung eines grünen Lichtes die Empfindung eines wenig gesättigten Grün. Die hier gegebene Erklärung der Blau-Gelb-Blindheit erscheint nicht zu complicirt in Anbetracht dessen, dass das seltene Vorkommen der Blau-Gelb-Blindheit auf eine grosse Complication in der ihr zu Grunde liegenden Entwicklungsstörung hinweist.

Nur kurz sei zum Schlusse darauf hingewiesen, dass ausser den beschriebenen Arten von Farbenblindheit noch gewisse Anomalien des Farbensinnes beobachtet worden sind, die in einer Schwäche des einen oder anderen Farbenempfindungsvermögens, z. B. des Rotsinnes, des Grünsinnes bestehen, sie würden wohl ausser auf mangelhafte Teilung auch noch auf eine mangelhafte Ausbildung, auf eine Verkrüppelung der einen oder anderen Sehsubstanz zurückzuführen sein.

Ich fasse die Ergebnisse unserer Betrachtungen nochmals kurz zusammen in Form folgender Thesen, die ich zur Discussion stelle:

Bei der Entwicklung des Farbensinnes wird zunächst eine für langwellige Lichter unempfindliche Ur-Weisssehsubstanz panchromatisirt, so dass eine für langwellige Lichter empfindlichere Weisssehsubstanz entsteht.

Diese Weisssehsubstanz teilt sich darauf in eine Blausehsubstanz und eine Gelbsehsubstanz.

Die Gelbsehsubstanz teilt sich darauf in eine Rotsehsubstanz und eine Grünsehsubstanz.

Ausbleiben des zweiten Teilungsprocesses bewirkt die als Deuteranopie bezeichnete Rot-Grün-Blindheit.

Ausbleiben beider Teilungsprozesse bewirkt die in der normalen Netzhautperipherie vorhandene totale Farbenblindheit der Zapfen.

Ausbleiben der Panchromatisation, verbunden mit Ausbleiben der zweiten, oder der beiden Teilungen bewirkt die dem Netzhautcentrum, bezw. der Netzhautperipherie des Protanopen eigene Sehweise.

Vollzieht sich der zweite Teilungsprocess, ohne dass der erste beendigt ist, so entsteht Blau-Gelb-Blindheit verbunden mit Rot-Grün-Schwäche.

Discussion.

Herr Karl Schaum:

Ich möchte mir erlauben, die von dem Herrn Vortragenden erwähnte Analogie der Entwicklung des Farbensinnes mit der photographischen Sensibilisierung etwas näher auszuführen. Wir denken uns eine Gelatineemulsion eines für das sichtbare Spektralgebiet nur wenig empfindlichen Silbersalzes. Baden wir diese Emulsion in der Lösung eines Blausensibilisators, so wird dieselbe für einen Teil des kurzwelligen Gebietes hochempfindlich und zwar mit einem Maximum im Blau. Diese Platte wäre ein Analogon zur farbenblinden rot- und gelbunempfindlichen Stäbchenweissseh-

substanz. Behandeln wir die Emulsion dagegen mit einem Grünsensibilisator, so bekommen wir ein im mittleren Teil des Spektrums gelegenes Sensibilisierungsband. Mischen wir die beiden Farbstofflösungen, so wirkt dieses Gemisch gleichzeitig für das blaue und das grüne Gebiet sensibilisierend. Die Form der beiden Sensibilisierungskurven sei derart beschaffen, dass das Empfindlichkeitsmaximum der Platte im Blaugrün liegt. Unsere Platte würde also in ihrem spektralen Verhalten ein Analogon zu der rotunempfindlichen protanopischen Zapfen-Weisssehsubstanz bilden.

Fügen wir dem Farbstoffgemisch nun noch einen Rotsensibilisator hinzu, so wird eine mit unserer Emulsion überzogene Platte beim Behandeln mit dieser Lösung für das ganze Spektrum lichtempfindlich und bei geeigneter Form der Rotkurve kann das Empfindlichkeitsmaximum nach dem langwelligen Spektralende hin, z. B. ins Gelbgrün, verschoben werden. Wir hätten also nun ein Analogon für die Empfindlichkeitsverhältnisse der normalen Zapfen-Weisssehsubstanz.

Es ist nun für die spektrale Empfindlichkeit einer Silbersalzemulsion gleichgültig, ob jedes einzelne Silbersalzkorn gleichzeitig die drei Sensibilisatoren enthält (trichromatische Färbung) oder ob zwei Drittel der gesammten Körnerzahl gleichzeitig zwei Sensibilisatoren enthalten (dichromatische Färbung), der Rest der Körner aber mit dem dritten Farbenstoff (monochromatisch) gefärbt ist, oder ob je ein Drittel der Körner mit je einem der drei Farbenstoffe (monochromatisch) sensibilisiert ist. Ganz analog würden wir zu unserer rotunempfindlichen Emulsion gelangen, wenn wir die Hälfte aller Körner mit dem Grün-, die andere Hälfte mit dem Blausensibilisator färbten. Wir hätten ausser den schon erwähnten Analogien:

„Rot- und Gelbunempfindliche Platte, monochromatische Färbung des Einzelkornes = Stäbchenweisssehsubstanz."

„Rotunempfindliche Platte, dichromatische Färbung des Einzelkornes = Farbenblinde protanopische Zapfen-Weisssehsubstanz."

„Panchromatische Platte, trichromatische Färbung des Einzelkornes = Farbenblinde normale Zapfen-Weisssehsubstanz,“ noch die folgenden:

„Dichromatische Färbung von zwei Drittel der Körner mit einem Gemisch aus zwei Sensibilisatoren, monochromatische Färbung des Restes mit dem dritten Farbstoff = Partielle Farbenblindheit.“

„Monochromatische Färbung je eines Drittels der Körner mit je einem Farbstoff = Normales trichromatisches Farbenempfindungsvermögen.“

„Rotunempfindliche Platte, monochromatische Färbung je einer Hälfte der Körner mit je einem Farbstoff (Grün- bezw. Blausensibilisator) = Protanopie.“

Zur Erklärung der Tatsache, dass jede Wellenlänge gleichzeitig jede der drei Young-Helmholtzschen Grundempfindungen erregt, hätte man analog anzunehmen, dass jeder Sensibilisator nicht nur in seinem eigenen Sensibilisierungsgebiet, sondern auch in den übrigen Spektralteilen eine gewisse, wenn auch geringe Empfindlichkeitssteigerung hervorruft.

Ich möchte nun noch kurz auseinandersetzen, wie man sich die Trennung der ursprünglich in einem Komplex vereinigten zwei bzw. drei Farbstoffe auf zwei bzw. drei getrennte Gebilde erklären kann. Verteilt sich ein Stoff zwischen zwei Lösungsmitteln, z. B. ein Farbstoff zwischen (amorphem) Silbersalz und Gelatine, so ist bei einer bestimmten Temperatur (gleiches Molekulargewicht in beiden Lösungsmitteln vorausgesetzt) das Verhältnis der Konzentrationen in den beiden Medien eine konstante Grösse, die man als Teilungskoeffizient bezeichnet. Wir wollen nun annehmen, in der Weisssehsubstanz hätten sich drei Sensibilisatoren gebildet, die zunächst in jener gelöst sind. Die trichromatische Weisssehsubstanz sei einem indifferenten Medium eingebettet, welches die Sensibilisatoren in geringer Menge zu lösen vermöge. Jetzt trennt sich von der Weisssehsubstanz ein Gebilde ab, für welches der Teilungskoeffizient (in

Bezug auf das indifferente Medium) für den Blausensibilisator einen sehr grossen, für die anderen Sensibilisatoren dagegen einen äusserst kleinen Wert hat, dann haben wir also nach Herstellung des Verteilungsgleichgewichtes in der indifferenten Grundmasse eine dichromatische Komplexgattung eingelagert, welche den Rot- und den Grünsensibilisator gelöst enthält, also im Sinn der Farbenwahrnehmungstheorie gelbempfindlich ist, und ferner ein monochromatisches Gebilde, das infolge seines Gehaltes an Blausensibilisator die Blauempfindung vermittelt. Die Weiterentwicklung des normalen trichromatischen Auges müsste dann so erfolgen dass der die beiden Sensibilisatoren für Rot und Grün enthaltende Komplex sich in der Weise spaltet, dass zwei Gebilde entstehen, deren eines einen sehr grossen Teilungskoeffizient für den Rotkörper hat, während der andere vornehmlich nur den Grünsensibilisator löst.

In welcher Weise sich das protanopische Auge bildet, ist ohne weiteres ersichtlich.

Herr F. Schenck:

Ich bin Herrn Kollegen Schaum sehr dankbar für seine Ausführungen; ich glaube, dass man auf dem von ihm gezeigten Wege zu einer speziellen Ausgestaltung der Theorie gelangt, die noch auf viele Einzelheiten Licht wirft.

Die Theorie würde soweit die Zapfensehsubstanzen in Betracht kommen, also so zu formuliren sein:

Die Weisssehsubstanz der äussersten Netzhautzone des Protanopen enthalte ausser einer eigentlichen lichtempfindlichen Substanz noch zwei Sensibilisatoren, einen für grünes Licht und einen für blaues Licht. Bei der Panchromatisation komme noch der Sensibilisator für rotes Licht hinzu. Alle diese Sensibilisatoren seien ursprünglich in dem ursprünglich einheitlichen Gebilde miteinander vermischt. Bei der ersten Teilung würde eine Trennung der Sensibilisatoren erfolgen, so dass der Blausensibilisator in die Blausehsubstanz, die beiden anderen in die

Gelbsehsubstanz übergehen. Bei der zweiten Teilung würde der Grünsensibilisator in die Grünsehsubstanz, der Rotsensibilisator in die Rotsehsubstanz übergehen.

Ich will noch auf folgende Punkte kurz hinweisen, für die gerade die Lehre von der Trennung der Sensibilisatoren bei den Teilungsvorgängen von besonderer Bedeutung erscheint.

Wenn die Differenzirung der Rotsehsubstanz bei der zweiten Teilung durch die Gegenwart der Rotsensibilisators bedingt sein soll, dann kann die Bildung der Rotsehsubstanz ohne Rotsensibilisator, d. h. ohne vorausgegangene Panchromatisation nicht erfolgen; es kann in diesem Falle die zweite Teilung nicht vor sich gehen. Das ist ja tatsächlich der Fall, es kommt dann nur zur ersten Teilung, es entsteht nur Protanopie.

Der Grünsensibilisator allein würde in der Grünsehsubstanz bei voll entwickeltem Farbensinn und auch in der protanopischen Gelbsehsubstanz enthalten sein, mithin müsste für jene Grünsehsubstanz dieselbe Abhängigkeit der Erregung von der Wellenlänge bestehen, wie für diese Gelbsehsubstanz. Diese Folgerung steht in guter Übereinstimmung mit einem, die Gleichung von Farbengemischen betreffenden Grundgesetze, welches lautet: Zwei verschiedene Farbengemische, die dem normalen Auge gleich aussehen, erscheinen auch dem Protanopen gleich. Das ist im Sinne unserer Anschauungen so zu verstehen: Angenommen ein bestimmtes Farbengemisch bringe beim normalen Auge eine Erregung der Rot-, Grün-, und Blausehsubstanz zu stande, so dass die Einzelerregungen repräsentirt würden durch die Werte a Rot, b Grün, c Blau. Ein anderes Farbengemisch, dass dem ersten gleich erscheinen soll, muss dann ebenfalls die Erregung [a Rot + b Grün + c Blau] geben. Beim Protanopen fehlt die Rot- und Grünerregung, statt dessen ist eine Gelberregung vorhanden. Da aber unserer Auffassung nach die Gelbsehsubstanz hier die gleiche Abhängigkeit ihrer Erregung von den einwirkenden Lichtern wie die Grünsehsubstanz des normalen Auges haben soll, so folgt, dass jedes der beiden Farbengemische beim Pro-

tanopen die Erregung [b Gelb + c Blau] liefern muss; die Gleichheitsbedingungen sind unserer Auffassung nach auch beim Protanopen erfüllt. — Beiläufig bemerkt gilt dasselbe Grundgesetz auch für den Deuteranopen. Dies ist unserer Auffassung nach dadurch bedingt, dass hier statt der Rot- und Grünsehsubstanz eine Gelbsehsubstanz vorhanden ist, welche aber dieselbe Abhängigkeit ihrer Erregung von den einwirkenden Lichtern hat, wie die Rot- und Grünsehsubstanz des normalen Auges zusammen. Bei Einwirkung jener Farbengemische entsteht also hier in beiden Fällen die Erregung [(a + b) Gelb + c Blau]; die Gleichheitsbedingungen sind auch so erfüllt.

Der Rotsensibilisator sensibilisirt übrigens nicht nur für langwelliges Licht, sondern auch noch etwas für kurzwelliges Licht; wir müssen nämlich im Sinne unserer Theorie annehmen, dass die Rotsehsubstanz auch durch violettes Licht, wenn auch in geringem Maasse mit erregt wird: Violett ist ja eine Mischung von Blau mit Rot.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die drei Sensibilisatoren wohl nur unter normalen Verhältnissen getrennt von einander auf die drei Sehsubstanzen verteilt gehalten bleiben können. Bei Erkrankungen des Sehorganes könnte es dagegen vielleicht zu einer mehr weniger vollständigen Vermischung der Sensibilisatoren kommen. Auf diese Weise könnte man vielleicht gewisse Störungen des Farbensinnes erklären, die in Krankheitsfällen beobachtet worden sind.

Wenn man auf dem angegebenen Wege noch weiter gehen, und in die Theorie auch die Stäbchensehsubstanz einbeziehen will, dann würde man den Unterschied der Helligkeitsverteilung für das Stäbchensehen und das protanopische Zapfensehen darauf zurückzuführen haben, dass in den Stäbchen nur der Blausensibilisator, in den protanopischen Zapfen aber ausser dem Blausensibilisator auch noch der Grünsensibilisator vorhanden wäre. Freilich muss dabei aber bedacht werden, dass die Stäbchensehsubstanz doch Verschiedenheiten von der Zapfen-Blauseh-

substanz zeigt; sie ist zunächst absolut empfindlicher, als letztere; ausserdem gilt für das Stäbchensehen nicht das vorhin erwähnte Grundgesetz betr. Gleichung von Farbenmischungen und dieses Grundgesetz müsste auch hier gelten, falls die Stäbchensehsubstanz genau gleich der Zapfen-Blausehsubstanz wäre. Die beobachteten Abweichungen von dem Grundgesetz lassen sich darauf zurückführen, dass der Stäbchensehsubstanz nicht nur eine absolut, sondern auch eine relativ grössere Empfindlichkeit für blaue Lichter zukommt, als der Zapfen-Blausehsubstanz; vielleicht ist dieser Unterschied zwischen den beiden Substanzen aber nur darauf zurückzuführen, dass der Blausensibilisator in der Stäbchensehsubstanz eine höhere Concentration hat.

Mit einem gewissen, durch die Unterschiede der Stäbchen-Weisssehsubstanz und der Zapfen-Blausehsubstanz erforderlichen Vorbehalt können wir nun unter Zugrundelegung unserer Anschauung uns eine Vorstellung von der Wirksamkeit des Grün- resp. des Rotsensibilisators verschaffen, wenn wir die Kurven der Helligkeitsverteilung für das Stäbchensehen, sowie für das protanopische und das normale Zapfensehen in ein Koordinatensystem so eintragen, dass wir die Ordinatenhöhe für die kurzwelligen Lichter, für die hauptsächlich der Blausensibilisator in Betracht kommt, bei allen drei Kurven als etwa gleich ansetzen. Im langwelligen Teile liegt dann die Kurve für das protanopische Zapfensehen höher, als die für das Stäbchensehen, und die Kurve für das normale Zapfensehen noch höher, als die für das protanopische Zapfensehen. Man kann nun zwei weitere Kurven auf derselben Abscisse construiren: für die erste seien die Ordinaten gleich gesetzt den Differenzen der Ordinaten der Stäbchenkurve und der Protanopenzapfenkurve, für die zweite seien die Ordinaten gleich gesetzt den Differenzen der Protanopenzapfenkurve und der Normalzapfenkurve. Die erste der so construirten Kurven giebt dann Aufschluss über die Wirksamkeit des Grünsensibilisators, die zweite über die Wirksamkeit des Rotsensibilisators. Durch Addition der Ordinaten dieser beiden Kurven kann man

schliesslich noch eine dritte Kurve construiren, die die Wirksamkeit des Rot- und Grünsensibilisators zusammen angiebt; diese Kurve muss Aufschluss geben über die Abhängigkeit der Erregung der Gelbsehsubstanz des Deuteranopen von der Wellenlänge. — Die erste, bezw. die dritte der so construirten Kurven stimmen mit den von v. Kries gegebenen Kurven für die sogenannten *W*-Werte des Protanopen, bezw. des Deuteranopen in ihrem Verlaufe soweit überein, wie man das bei der Verschiedenheit der Stäbchensehsubstanz und der Zapfen-Blausehsubstanz erwarten darf, diese Übereinstimmung ist nach unserer Theorie zu erwarten.

Herr Lohmann bemerkt, dass man vielleicht durch Untersuchung an kleinen Kindern eine experimentelle Bestätigung der Schenck'schen Theorie finden könne. Bekanntlich entwickelt sich der Farbensinn der Kinder erst langsam und verhältnismässig spät, sodass er erst etwa mit dem sechsten Lebensjahre vollkommen ausgebildet ist. Es wäre nun zu untersuchen, ob die einzelnen Entwicklungsstadien, wie sie die Schenck'sche Theorie annimmt, sich auch bei der allmählichen Entwicklung des kindlichen Farbensinnes verfolgen lassen.

Herr Richarz:

Folgende Bemerkung ist dadurch veranlasst, dass Herr College F. Schenck mir gesprächsweise die Frage vorgelegt hat, ob die Tatsache. dass die Violett-Empfindung einen roten Anteil enthält, vielleicht erklärt werden könne durch Bildung stehender Licht-Wellen, wie sie z. B. neuerdings auch wieder von Hrn. E. Raehlmann (Pflügers Archiv **112**, p. 172, 1906) als in der Retina entstehend angenommen werden. Dabei wäre durch den Umstand, dass die Wellenlänge des roten Lichtes beinahe die doppelte von der des violetten Lichtes ist, eine Erklärung gleichzeitiger Erregung dann zu finden, wenn das erregbare Gebilde in passendem Abstande von der reflectirenden Wand seinen Platz hätte.

Das wäre vom rein physikalischen Standpunkte aus in der Tat denkbar. Und zwar auf zweierlei Weise. Nehmen wir erstens einmal an, dass die Reflexion an dem optisch dichteren Medium geschieht; dann hätten wir in der reflectirenden Wand für die stehenden Lichtwellen einen Knotenpunkt. Ein ebensolcher befindet sich für rotes Licht im Abstande $\lambda/2$ von der Wand; in der Nähe läge auch der 2. (von der Wand aus gerechnet) Knotenpunkt für die stehenden violetten Wellen. Genauer gesagt wären dies nach der elektromagnetischen Theorie des Lichtes Knotenpunkte der elektrischen Kraft, aber Bäuche der magnetischen.[1]) Man nehme nun an dieser Stelle ein Gebilde an, das für die Oscillationen der magnetischen Kraft empfindlich sei, z. B. Induktionsströme entstehen lässt, [wie die Versuchsanordnung von Hrn. Bangert, Physikal. Inaugural-Dissertation, Marburg 1906] und dessen Erregung Rotempfindung hervorruft. Dieses Gebilde würde stark erregt durch Strahlen von der Wellenlänge des roten Lichtes, schwächer aber auch durch violette. Andere Grün- bezw. Blauempfindende Gebilde müssten näher an der reflectirenden Wand je im Abstande von einer halben Wellenlänge des betr. Lichtes angenommen werden. Dann würde violettes Licht vornehmlich das blauempfindende Gebilde erregen; ausserdem aber auch, wie zuvor auseinandergesetzt, schwächer das rotempfindende.

Zweitens könnte die Reflexion, die zur Bildung der stehenden Wellen Anlass gibt, am optisch dünneren Medium geschehen. Dann läge in der reflectirenden Wand ein Bauch der Schwingungen im gewöhnlichen Sinne; genauer gesagt: ein Bauch für die elektrische Kraft. Die empfindenden Gebilde wären dann als erregbar nicht durch magnetische, sondern durch elektrische Oscillationen anzunehmen, also z B. photochemisch reagirend. Die Lage der Rot-, Grün-, Blau- empfindenden Gebilde vor der

1) Siehe F. Richarz, Neuere Fortschr. a. d. Gebiete d. Elektricität, wissensch. gemeinverst. dargestellt. Leipzig bei Teubner, 2. Aufl. 1902, pag. 53, 76, 84.

reflectirenden Wand wäre gerade so wie zuvor zu postuliren. Im Abstande von $\lambda/2$ für Rot vor der Wand befände sich ein Bauch der stehenden roten Wellen, und nahezu auch ein solcher für die violetten; präciser gesagt: ein Bauch der in den Lichtwellen enthaltenen elektrischen Oscillationen. Auch dann würde violettes Licht vornehmlich die Blau-Empfindung, daneben aber auch schwächer die Rot-Empfindung erregen.

Statt der Erklärung durch stehende Wellen liesse sich aber auch eine solche durch **Resonanz** geben. Die Annahme der Existenz von Resonatoren auf Lichtwellen ist zur Erklärung verschiedener anderer physikalischer Erscheinungen unumgänglich; Hrn. Schaum's farbige photographische Negative sind z. B. nur durch Annahme solcher Resonatoren zu erklären.[1]) Wenn nun ein solcher Resonator deswegen Resonanz auf rotes Licht ergeben würde, weil gewisse seiner Dimensionen (entsprechend der Länge einer Saite) der halben Wellenlänge für Rot entsprechen, so kann dieser Resonator nahezu Resonanz auch für violettes Licht ergeben (ebenso wie jene Saite für die Oktave, indem sie in zwei Hälften schwingt). Man könnte weiter annehmen, dass die Rotsehsubstanz deswegen rotempfindlich sei, weil sie ein optischer Resonator auf rote Wellen ist; und müsste die entsprechende Annahme für die Grün- bezw. Blau-Sehsubstanz machen. In dieser Weise würde man, und zwar einfacher als zuvor durch die stehenden Wellen, zu einer Erklärung dafür gelangen, dass violettes Licht neben der überwiegenden Blauerregung auch eine schwächere Roterregung giebt. Diese Annahme von optischen Resonatoren liesse sich sogar einfügen in Schaum's spezielle Hypothese über die Natur der Schenckschen Rot-Grün-Blau-Seh-Substanzen als Sensibilisatoren. Denn man brauchte dann nur anzunehmen, dass diese Substanzen eben deswegen die Eigenschaften von Sensibilisatoren für die betreffende Farbe haben, weil sie optische Resonanz gerade auf sie ergeben, also auch die Energie der Wellen von der betreffenden Länge absorbiren und für die Umsetzung in andere Energieformen disponibel machen.

1) Siehe diese Sitzungsberichte S. 29; 1906.

Bei Heranziehung der optischen Resonanz liessen sich auch die Unterschiede im Verhalten der Stäbchensehsubstanz (Sehpurpur) und der Zapfen-Blausehsubstanz folgendermassen erklären. Wie Herr Coll. Schenck ausgeführt hat (siehe oben S. 27/28), ist die Stäbchensehsubstanz sowohl absolut empfindlicher, als die Zapfen-Blausehsubstanz, wie auch relativ empfindlicher für Blau; d. h. die Empfindlichkeitscurven auf gleiche Grösse des Maximums reducirt, ergeben bei den Stäbchen einen schmäleren, steiler ansteigenden Berg, als bei der Zapfen-Blausehsubstanz. Dasselbe Verhalten würde sich physikalisch ergeben, wenn wir die Stäbchensehsubstanz als einen Resonator auf Blau mit ungedämpften oder wenig gedämpften Eigenschwingungen annehmen; die Zapfen-Blausehsubstanz aber als einen solchen Resonator mit stärkerer Dämpfung der Eigenschwingungen. In letzterem Falle werden diese allgemein nicht zu so starker Resonanz erregt werden können, wie in ersterem; und ausserdem wird, wie Theorie und Versuch bei akustischer und bei elektrischer Resonanz ergeben haben, die Resonanz in einem breiteren Gebiet von Wellenlängen zu beiden Seiten des Maximums relativ kräftiger stattfinden, als bei ungedämpften oder weniger gedämpften Eigenschwingungen des Resonators.

Herr F. Schenck:

Die Frage, ob die specifische Erregung der Sehsubstanzen beruhen könne auf Lokalisation derselben an Stellen, die in bestimmter Weise zu den Bäuchen resp. Knoten stehender Wellen angeordnet wären, hatte ich aufgeworfen, um für die weitere Ausgestaltung der Theorie eine sichere physikalische Grundlage zu gewinnen, die auch bei den Fragestellungen für weitere Forschungen als Wegweiser dienen könnte. Ich bin Herrn Kollegen Richarz sehr verbunden für die anregenden Aufklärungen, die er hinsichtlich dieses Punktes sowie hinsichtlich der optischen Resonanz gegeben hat, und die recht wohl geeignet erscheinen, als leitende Gesichtspunkte für weitere Untersuchungen zu dienen.

Darauf sprach Herr Dr. Achelis:

Über den Nachweis einer neuen toxischen Base im Harn (Methylguanidin).

M. H. Die Frage nach Giftigkeit des Harns hat von jeher das Interesse der Mediziner erregt. Man ging, um diese Frage zu beantworten, zunächst in der Weise vor, dass man den Harn so wie er entleert war, also ohne irgendwelche chemische Massnahmen an ihm vorzunehmen, den Versuchstieren beibrachte und dann beobachtete, ob Vergiftungserscheinungen auftraten oder nicht. So fand man, dass der menschliche Harn, in die Blutbahn injiziert, allerdings stark giftig wirkte; aber welche Bestandteile des Harns diese Giftwirkung hervorriefen, konnte man auf diese Weise natürlich nicht entscheiden. Den Grad der Giftigkeit des menschlichen Harns bestimmte Bouchard nach dem Gewicht Kaninchen in Kilo, welche durch die vom Kilo Körpergewicht eines Menschen in 24 Stunden entleerte Harnmenge getötet werden. Dieser toxische Coeffizient des Harns soll beim gesunden Erwachsenen ca. 0,465 betragen; d. h. die von einem Kilo Mensch in 24 Stunden entleerte Harnmenge soll 465 g Kaninchen töten können. Nimmt man das Gewicht eines Kaninchens zu 1,5 kg an, und die von einem Menschen von 70 kg Gewicht entleerte 24stündige Harnmenge zu 1500 cc, so folgt daraus, dass die tägliche Urinmenge eines Menschen genügt um ca. 22 Kaninchen zu töten; gewiss eine beträchtliche Giftwirkung!

Ferner sollen nach Bouchard wesentliche Unterschiede in dem Grade und der Art der Giftwirkung von Tag- und Nachtharn bestehen. Der Tagharn sei giftiger und wirke narkotisch, während der Nachtharn weniger giftig sei und Convulsionen hervorrufe. Und da beide also gewissermassen Antagonisten seien, so wäre ein Gemisch aus Tag- und Nachtharn weniger giftig, als der Summe der Giftigkeit von beiden einzeln entspräche.

Der Harn von Kranken, speziell von Fieberkranken, soll dem Grade nach giftiger sein, als der von Gesunden; aber die Art der Vergiftungssymptome sei die gleiche, sodass also die grössere Giftigkeit nicht durch spezifische Krankheitstoxine bedingt sei, sondern lediglich durch einen grösseren Gehalt an normalen Harngiften. Aber alle diese Angaben Bouchards scheinen doch nicht so ganz einwandsfrei zu sein; jedenfalls sind sie nicht unwidersprochen geblieben (s. u.).

Es ist wohl zweifellos, dass ein grosser Teil der Giftwirkung des Harns auf dessen anorganische Bestandteile, besonders seine Kalisalze, zurückzuführen ist.

Aber dass diese Kalisalze nicht ausschliesslich die Giftigkeit des Harns bedingen, ist ebenfalls seit langem bekannt; denn die Harnasche ist weniger giftig, als das Harn selbst; und ferner zeigt der vom Kali befreite Harn noch deutliche Giftwirkung.

Man wurde also immer wieder darauf hingewiesen, nach organischen Harngiften zu suchen, und hat auch im Laufe der Zeit eine ganze Anzahl von mehr oder weniger giftigen organischen Basen aus dem Harn isoliert und zum Teil auch näher charakterisiert. Insbesondere hat man den Harn von Kranken untersucht und bei einer Reihe von Krankheiten spezifische Alkaloïde gefunden. Bei manchen Infektionskrankheiten waren es dieselben Körper, die man auch aus Reinkulturen der betreffenden Krankheitserreger gewinnen konnte. Aber die bekannten giftigen Stoffwechselprodukte, wie Guanidin, Methylguanidin, Cholin und Neurin, suchte man bisher immer vergeblich als regelmässige Bestandteile des Harns nachzuweisen. Sodass bei der Unsicherheit der Angaben über organische Harngifte viele Autoren zu dem Schluss kamen, dass ausser dem Kali nur nach die Summe an sich wenig giftiger Harnbestandteile giftig wirke, wie Harnstoff, Kreatinin etc.

Nun haben in neuester Zeit am hiesigen physiologischen Institute Kutscher u. Lohmann nach neuen, von ihnen ausgearbeiteten Methoden eine Anzahl toxischer Basen im Harn

aufgefunden, die zum Teil überhaupt noch nicht bekannt, zum Teil wenigstens noch nicht im normalen Menschenharn nachgewiesen waren.

Auf Veranlassung von Herrn Prof. Kutscher habe ich dann ebenfalls den normalen Menschenharn zum Gegenstand von Untersuchungen benutzt. Die Methode, nach der ich vorging, war ähnlich derjenigen, die Herr Prof. Kutscher angegeben hat. Auf ihre Einzelheiten brauche ich hier wohl nicht näher einzugehen. Jedenfalls erhielt ich schliesslich durch Ausfällen mit Picrolonsäure ein Salz, dass sich durch die Elementaranalyse als das Picronolat des Methylguanidins erwies. Dass dies nicht etwa ein zufälliger, sondern wohl ein regelmässiger Bestandteil des normalen Menschenharns ist, muss schon deshalb angenommen werden, weil ich es in 2 verschiedenen Harnmengen unabhängig von einander nachweisen konnte. Sehr reichlich ist es allerdings nicht im Harn vorhanden; denn ich erhielt aus 30 l Harn nur 0,7 g Picrolonat, was ungefähr 0,35 g an reinem Methylguanidin entspricht. Immerhin kann ja ein Teil davon im Verlauf der Untersuchung verloren gegangen sein.

Von grösstem Interesse ist nun die Frage, wie dieses als giftig bekannte Stoffwechselprodukt in den Harn hineinkommt. Die einfachste Möglichkeit wäre die, das wir das Methylguanidin mit der Nahrung in unseren Körper brächten — natürlich nur in so kleinen Einzeldosen, dass eine Giftwirkung sich nicht bemerkbar machen könnte — und dass es dann einfach in den Harn überginge. Möglich wäre das allerdings; denn in einem unsrer meist gebrauchten Genussmittel, dem Liebig'schen Fleischextract, sind von Herrn Prof. Kutscher recht erhebliche Mengen von Methylguanidin nachgewiesen worden. Ich habe deshalb einem Hunde, der nur mit Brot und Wasser gefüttert wurde, an 2 aufeinanderfolgenden Tagen im Ganzen 1,3 g Methylguanidinchlorid subkutan eingespritzt, und den in den nächsten Tagen entleerten Urin — es waren 3 l — gesammelt und untersucht. Vorausbemerken muss ich, dass vorher das Methylguanidin auch

im Hundeharn nachgewiesen wurde; es kommt hierin zusammen mit dem Dimethylguanidin ebenfalls konstant vor. Wenn nun tatsächlich das Methylguanidin im Harn dem der Nahrung entstammte, dann hätte es in diesen 3 l Hundeharn in ganz unverhältnismässig grosser Menge gefunden werden müssen. Aber das war nicht der Fall. Die Menge war wohl etwas grösser, als gewöhnlich, entsprach aber doch lange nicht der Menge der künstlich eingeführten Substanz. Wir müssen also daraus folgern, dass das Methylguanidin der Nahrung jedenfalls nicht quantitativ als solches im Harn austritt und sicher nicht die einzige Quelle für das Methylguanidin im Harn ist.

Es bleibt also nur noch die Möglichkeit, dass wir das Methylguanidin im Harn als ein Stoffwechselprodukt unseres eigenen Körpers auffassen, das in letzter Linie dem Eiweiss entstammt. Und zwar muss es als solches in Beziehung zu dem Kreatin und Kreatinin stehen; denn das Kreatin ist als Methylguanidinessigsäure das dem Methylguanidin am nächsten verwandte Stoffwechselprodukt, das wir kennen. Es liegen in dieser Hinsicht wieder zwei Möglichkeiten vor: einmal könnte das Methylguanidin eine Vorstufe für das beim Eiweissabbau in unserm Körper gebildete Kreatin sein, und zwar eine giftige Vorstufe, vor deren Giftwirkung der Körper sich dadurch schützt, dass er es zum grössten Teil in das ungiftige Kreatin überführt, während er nur einen kleinen, und daher unschädlichen Teil als solchen in den Harn übertreten lässt.

Die andere Möglichkeit wäre die, dass das Methylguanidin ein Abbauprodukt des Kreatins der Nahrung darstellt, das wir ja mit jeder Fleischspeise reichlich unserm Körper zuführen. Dieser letztere Fall hat sogar an und für sich eine grosse Wahrscheinlichkeit auf seiner Seite. Denn wir wissen, dass bei der Darmfäulnis auch sonst eine Anzahl schwerer Gilte gebildet werden, die dann in irgend einer Form im Harn wieder austreten. Es sei hier nur an das Beispiel der Ätherschwefelsäuren im Harn erinnert. Es entstehen bei der Darmfäulnis Stoffe wie

Phenol, Kresol, Indol und Skatol, die vom Blute aufgenommen werden und bei ihrer bekannten Giftigkeit den Körper sehr wohl schädigen könnten. Aber der Körper schützt sich davor, indem er sie in der Leber an Schwefelsäure bindet, die in freiem Zustande natürlich ebenfalls eine Gefahr für den Körper gebildet hätte. Er schafft also aus diesen beiden an und für sich giftigen Stoffen die ungiftigen Ätherschwefelsäuren und lässt sie als solche in den Harn übergehen.

Die Frage ob das Methylguanidin ebenfalls im Darm als Fäulnisprodukt, als ein Abbauprodukt des Kreatins entsteht, war leicht zu beantworten. Es musste dann natürlich bei einer absolut kreatinfreien Kost im Harn fehlen, dagegen nach besonders kreatinreicher Kost in besonders starkem Masse vorhanden sein. Die dahin zielenden Versuche habe ich gleichzeitig an Menschen und Hunden vorgenommen. Die Menschen nahmen eine Zeit lang eine rein vegetabilische, also kreatinfreie Nahrung auf, die Hunde bekamen nur Brot und Wasser. Dann wurden, als auf diese Weise von beiden genügend Harn gesammelt war, der kreatinfreien Kost noch ziemlich beträchtliche Mengen von Kreatinin in Substanz zugesetzt. Es hatte dies den Vorteil, dass man genau wusste, wieviel Kreatinin in der Nahrung war, wieviel also gegebenenfalls zur Umsetzung gelangen konnte. Die Menschen nahmen 16 g, die Hunde ca. 50 g Kreatinin auf. Trotz des hohen Preises des Kreatinins konnte ich diese Mengen verwenden, weil ich es teils bei den früheren Versuchen aus dem Harn dargestellt hatte; zum grössten Teil aber hatte es Herr Prof. Kutscher bei seinen Arbeiten aus den Liebigschen Fleischextract gewonnen.

Das Resultat bei der Untersuchung dieser 4 verschiedenen Harnportionen war nun folgendes: Das Methylguanidin fehlte nicht in dem Harn nach kreatinfreier Kost. Es war im Gegenteil fast ebenso reichlich darin, wie gewöhnlich. Nach dem reichlichen Kreatiningenuss war es vielleicht etwas vermehrt. Aber die Steigerung war viel zu gering im Verhältnis zu der grossen eingeführten Kreatininmenge; ja sie kann sogar

durch kleine Fehler in dem keineswegs quantitativen Gang der Analyse bedingt sein. Wir müssen also daraus folgern, dass das Methylguanidin im Harn auch dem Kreatin der Nahrung höchstens zu einem kleinen Teil entstammen kann, in seiner Hauptmenge sich aber sicher nicht von diesem ableitet.

Zum weiteren Beweis hierfür habe ich auch noch im Pflanzenfresserharn — ich verwandte Pferdeharn dazu — nach dem Methylguanidin gesucht und habe gefunden, dass es auch hierin mindestens ebenso reichlich vorkommt, wie im Harn des Hundes (Fleischfresser) und des Menschen (Fruchtfresser). Und die Pflanzenfresser nehmen doch niemals Kreatin in ihrer Nahrung auf.

Für die Herkunft des Methylguanidins im Harn bleibt also nur noch eine Möglichkeit; und das ist die, dass es unserm eigenen Körpereiweiss entstammt. Es werden ja dauernd in unserm Körper bei dem sogenannten intermediären Stoffwechsel Zellen zerstört, Eiweiss abgebaut und wieder ersetzt; und bei diesem Eiweissabbau muss es neben der Bildung von Harnstoff, Harnsäure u. s. w. auch zur Bildung von Methylguanidin kommen. Wahrscheinlich geht dann die Umsetzung in der Weise weiter, dass aus dem giftigen Methylguanidin die ungiftige Methylguanidinessigsäure, das Kreatin, gebildet wird. Wahrscheinlich ist das schon deshalb, weil wir in den Geweben, besonders den Muskeln, und weiterhin auch im Harn recht beträchtliche Mengen von Kreatin resp. Kreatinin finden, während das Methylguanidin im Harn ja nur in sehr kleiner Menge vorhanden ist. Wir müssen eben annehmen, dass nur ein kleiner Teil des Methylguanidins der Umsetzung in Kreatin entgeht; ein Teil der so klein ist, dass er nicht weiter schädlich wirken kann.

Das Methylguanidin kommt in dem Eiweiss als solches nicht vor, wenigstens ist es bis jetzt nie darin gefunden worden. Wir müssen deshalb vermuten, dass es sich aus andern Vorstufen entwickelt, die ihrerseits erst im Eiweiss enthalten sind. Als solche Vorstufe kommt eigentlich wohl nur das Arginin in Betracht, das sich chemisch als Guanidinaminovaleriansäure

darstellt. Sollte es sich bewahrheiten, dass ein präformierter Guanidinkern im Eiweissmolekül vorhanden ist, wie Otori wahrscheinlich macht, dann wurde natürlich auch dieser noch als Vorstufe für das Methylguanidin in Betracht kommen.

In der Wahlsitzung vom 14. November wurden gewählt:
zu ordentlichen Mitgliedern:

Herr Professor Dr. R. Beneke, Director des pathologischen Instituts.

Herr Professor Dr. A. Hefftter, Director des pharmaokologischen Instituts.

zum ausserordentlichen Mitgliede:

Herr Dr. Th. Lorenz, Privatdocent für Geologie.

Aufgelegte Schriften:

Abhandlungen der Senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft. Bd. 30 Heft 1 u. 2. Frankfurt a. M. 1906.

Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen. 37. Bd. 1905. Erlangen 1906.

57ter Bericht der Lese- u. Redehalle der deutschen Studenten in Prag 1905. Prag 1906.

Sitzungsberichte des deutschen naturw.-mediz. Vereins für Böhmen „Lotos". Neue Folge 25. Bd. 1905. Prag 1905.

Archives du Musée Teyler Ser. II. Vol. X 2. Partie. Haarlem 1906.

Atti della R. Accademia dei Lincei Ser. V. Rendiconti. Vol. XV. Fasc. 9, 11.

Rendiconti dell'Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche Ser. 3a. Vol. XII. Fasc. 1—2, 3, 4. Napoli 1906.

Atti della Società Toscana di Scienze Naturali Processi verbali. Vol. XV. Nr. 2, 3, 4.

Archives de l'Institut Royal de bactériologie Camara Prestana Tome I. Fasc. 1. Lisbone 1906.

U. S. Geological Survey Professional Paper No. 44, No. 48. Part. I, II, III. Washington 1906.

U. S. Geological Survey Water-Supply and Irrigation Paper No. 154, 167 Washington 1906.

Smithsonian Institution, Annual Report 1904 of the U. S. National Museum. Washington 1906.

Smithsonian Institution, Hodkins Fund Contributions to Knowledge, Part of vol XXXIV (No. 1651). Washington-City 1905.

Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Vol. LVII, Part. III 1905. Philadelphia 1906.

University of Montana Bull. No. 30, Biological Series No. 10. Missoula, Montana 1906.

Wisconsin Natural History Society, Bulletin, Vol. II No. 1 u. 2. Milwaukee 1906.

The Amerikan Naturalist. Vol. XL. No. 474. Boston etc. 1906.

Bulletin of the New-York Public Library. Vol. X. No. 6. New-York 1906.

Amsterdam. K. Akad. van Wettenschappen. Jaarbock 1905. Jan. 1906.

Verhandelingen. 1. Sect. IX. Deel Nr. 2/3, Oct. 1905 u. Juli 1906,

— 2. Sect. XII. Deel Nr. 3/4, Jan. u. Juli 1096.

Verslag van de gewone Vergaderingen etc. XIV. Deel 1/2. Dec. 1905 Mai 1906.

Bautzen. Naturw. Ges. Isis. Sitzungsberichte 1902/5. 1906.

Bergen. Museum. Aarbog 1906 1/2. 1906.

Au account of Crustacea. V. 13/14. 1906.

Boston. The American Naturalist. 40. Bd. Nr. 475/6 u. 477/8. Juli/August 1906.

Braunschweig. Verein f. Naturw. 14. Jahresbericht f. 1903/4, 1904/5. 1906.

Techn. Hochschule. Programm 1906/7. 1906.

Brünn. Klub f. Naturkunde. 7. Bericht f. 1905. 1906.

Chapel-Hill. El Mitchell scientific Society. Journal XXII, Nr. 2. 1906.

Danzig. Naturf. Gesellschaft. Schriften N. F. IX. 4°. 1906.

Sitzungsberichte

der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften

zu

Marburg.

Nr. 10 **Dezember** **1906**

In der Sitzung der Gesellschaft vom 12. Dezember trug Herr F. Richarz vor:

Über eine Beobachtung des künstlichen Brockengespenstes.

In der ausserordentlichen Sitzung der Gesellschaft vom 25. Juli d. J. hat der russische Stabsarzt Herr Dr. K. S. Iwanoff (als Gast) über eine derartige Beobachtung vorgetragen.[1]) Wie mir inzwischen Herr F. Kohlrausch mitteilte ist die Möglichkeit einer experimentellen Erzeugung des Brockengespenstes[2]) bereits länger bekannt. In Anknüpfung an einzelne Angaben von Herrn Iwanoff hatte ich mir vorgenommen, die erste sich darbietende Gelegenheit zu einer Nachprüfung zu benutzen.

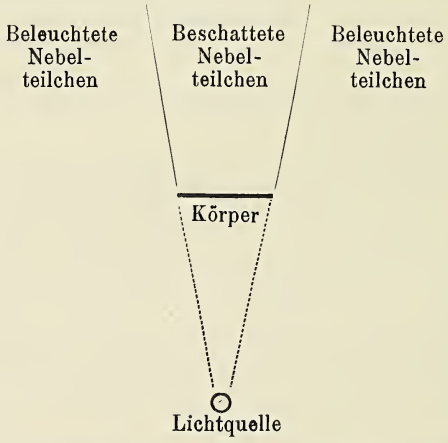
Am Abend des 23. November herrschte starker Nebel in unserer Stadt; bei der hohen und freien Lage des Instituts bieten die nach der Thalseite hin gelegenen Fenster der oberen Stockwerke besonders günstige Versuchsbedingungen dar. In der That konnten ausser mir die noch im Institut anwesenden Herren Koll. W. Feussner, Dr. E. Take und E. Rohlf aus einem

1) Siehe diese Sitz. Ber. p. 120.

2) Hiermit soll, ohne Rücksicht auf das etwaige Auftreten von Lichträndern oder farbigen Kreisen, immer nur der Schatten des Beobachters auf Nebeln bezeichnet werden. Ebenso I. M. Pernter in seiner Meteorologischen Optik, **3**, pag. 405, Wien 1906. Literaturangaben siehe dort und in Siegmund Günthers Handbuch der Geophysik, 2. Bd., pag. 129; 2. Aufl. Stuttgart 1899.

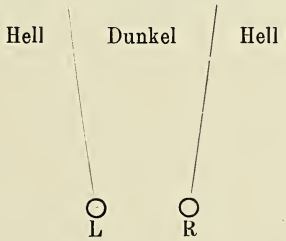
geöffneten Fenster hinausblickend, während hinter uns eine Gaslampe brannte, sehr schön im Nebel unsern Schatten beobachten.

Bei unserer Beobachtung vom 23. November erfüllte der Nebel die ganze Luft gleichmässig bis dicht ans Fenster. Der Schatten ist in einem solchen Falle nicht auf einer bestimmten Wand erzeugt, sondern ist die in die Tiefe hinein ausgedehnte Grenzfläche zwischen den beleuchteten Nebelteilchen und den vom Körper beschatteten:



Das Gespensterhafte kommt alsdann zu Stande durch die Unsicherheit des Urteils über den Ort, auf den man akkomodieren und den man fixieren soll. Der eine Beobachter, der auf grosse Entfernung akkomodiert, verlegt dorthin auch den Schatten im Nebel und schreibt ihm eine riesenhafte Grösse zu; nicht so aber ein Anderer, der im Nebel die Nähe ins Auge fasst. Wer seine Akkomodation und Fixation nach Willkür verändert, kann das Gespenst entfernter oder näher und gleichzeitig mehr oder weniger gross erblicken. Diese bekannten Eigenschaften der Erscheinung konnten wir mit individuellen Unterschieden konstatieren; nicht dagegen die von Herrn Iwanoff angegebene Konkavität des Schattens, die er in Verbindung bringt unter anderem mit dem Helmholtzschen Horopter. Dass die Erscheinung aber zu diesem keine Beziehung haben kann, geht schon daraus her-

vor, dass der Horopter seine Bedeutung für das zweiäugige Sehen besitzt, dass dagegen das Brockengespenst, wie wir bei unserer Beobachtung am 23. November deutlich erkannten, aus zwei im Wesentlichen mit nur einem Auge gesehenen Hälften zusammengesetzt ist. Wir sahen nämlich beim Schliessen des linken Auges, also blos rechtsäugig sehend, allein die rechte Hälfte der Grenze von Schatten und Helligkeit im Nebel deutlich, die linke Grenze dagegen nur höchst undeutlich und verschwommen. Umgekehrt beim Schliessen des rechten Auges. Dies ist ganz einfach zu erklären. Die folgende Figur



bedeutet einen schematischen Grundriss der Lage der beiden Augen R und L und der von den beiden Körperseiten ausgehenden Grenzen zwischen den beleuchteten und den vom Körper beschatteten Partieen des Nebels. Von allen beleuchteten Nebelteilchen wird Licht zum Beobachter zurückgeworfen. Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass R nur die rechte und L nur die linke Grenze wirklich als eine Grenze zwischen Hell und Dunkel sehen kann. Aus ganz demselben Grunde konnte bei unserer Beobachtung am 23. November auch immer jeder von uns nur seinen eignen Schatten im Nebel erkennen; und den Schatten einer hinter uns befindlichen vertikalen eisernen Stange, welcher Schatten so zu sagen nur eine dunkele Ebene im Nebel bildete, konnte man nur wahrnehmen, wenn man sich mit einem Auge in dieser Schattenebene befand. Dies alles beweist, dass das „Brockengespenst“, das wir beobachteten, aus zwei unokular, oder nahezu unokular gesehenen Hälften sich zusammensetzte.

In einer anderen Art erscheint das Brockengespenst, wenn der Nebel nicht gleichmässig verbreitet, sondern in Form einer

Wand nach dem Beobachter hin abgegrenzt ist, sodass sich zwischen letzterem und der Nebelwand noch ein klarer Zwischenraum befindet. Von dieser Erscheinungsweise hat mir z. B. Herr College Rud. Beneke mitgeteilt, dass er sie auf dem Gipfel des Gross-Glockners zu beobachten Gelegenheit gehabt habe. Bei Sonnenuntergang erschienen die von den nahezu horizontalen Sonnenstrahlen entworfenen Schatten der Beobachter auf einer vertikalen Nebelwand, die sich in einer Entfernung von einigen Kilometern über dem Pasterzenkees erhob. Der Halbschatten der Beobachter wird dann um so mehr vergrössert auf der Wolkenwand sichtbar, je weiter diese entfernt ist.

In diesem Falle wird die Vergrösserung und — wenn die Nebelwand nicht eben ist — Verzerrung das Gespenstige des Phänomens verursachen. Es ist ferner vorauszusagen, dass bei gleichzeitiger Anwesenheit mehrerer Menschen diese einen gewissen Abstand von einander bewahren müssen, wenn ihre Halbschatten getrennt bleiben sollen. Diese andere Erscheinungsform des Brockengespenstes wird erst recht nichts mit dem Helmholtzschen Horopter gemein haben; denn es handelt sich bei dieser zweiten Art des Phänomens ja einfach um einen gewöhnlichen Schatten auf einer Fläche, die durch die Begrenzung der Nebelmasse gegeben ist.

Diese Form des „Brockengespenstes“ tritt häufig auch in der Weise auf, dass jeder Beobachter seinen eigenen Kopfschatten von einem Lichtrand umgeben sieht. Das kann man experimentell leicht nachahmen, indem man eine grössere Fensterglasscheibe mit Wasserdampf beschlägt und hinter sich eine Lichtquelle (Bogenlampe) aufstellt. Manchmal, nämlich bei „homogenem“ Nebel, erscheint der Kopfschatten des Brockengespenstes nicht nur umgeben von diesem durch blosse nahezu senkrechte Reflexion in den Tröpfchen entstehenden Lichtrand, sondern auch noch von farbigen Beugungs-Ringen. Auch diese Begleiterscheinung kann man nachahmen durch Bestäuben der Fensterscheibe mit Lycopodiumpulver. Die Beugungsringe um das Spiegelbild der Bogenlampe sind dann ausserordentlich glänzend zu sehen.

und umgeben den Kopfschatten, wenn dieser das Spiegelbild der Lichtquelle abblendet. Diese Beugungsringe können beim natürlichen Brockengespenst folgendermassen entstehen. Die von den Rückseiten der Nebelteilchen nahezu senkrecht reflektirten Strahlen sind unmittelbar die Ursache des hellen Lichtrandes um den Kopfschatten. Indem diese aus dem Innern des Nebels zurückkehrenden Strahlen an anderen Nebelteilchen Beugung erleiden, sind sie Ursache der farbigen Kreise um den Kopfschatten.

[Nebenbei werde bemerkt, dass bei der experimentellen Darstellung der Beugungsringe um den Kopfschatten noch eine andere Interferenzerscheinung sehr schön, und bei grossen Abständen von Lichtquelle und Glasscheibe, sowie bei geeigneter Stellung des Auges in riesigen Dimensionen beobachtet werden konnte. Die zu den Versuchen benutzte Scheibe war eine solche aus Spiegelglas, deren Vorderseite mit Lycopodiumsporen bestäubt war. Die ausser den gewöhnlichen Beugungsringen alsdann noch erscheinenden Ringe umgeben nicht, wie jene, das Spiegelbild der Lichtquelle als Mittelpunkt; vielmehr geht einer von ihnen durch dieses hindurch. Die Lage und Gestalt der Ringe hängt ab von der Stellung des Auges zur Normalen von Lichtquelle auf Spiegel. Sie entstehen, worauf Kollege W. Feussner mich freundlichst aufmerksam machte, durch Interferenz des an demselben Staubteilchen gebeugten Lichtes, welches dieses zum ersten Male beim Hinweg durch die Vorderfläche und zum zweiten Male bei der Rückkehr von der Hinterfläche nach der Reflexion trifft. Siehe W. Feussner, Winkelmanns Handbuch, 1894, Bd. III. 1, pag. 621/622; Originalarbeiten: Lommel, Interferenz des gebeugten Lichtes, Erlangen 1875; K. Exner, Wiener Sitz.-Ber. **76**, pag. 522, 1878 und **90**, pag. 827, 1884.]

Es bedarf kaum der Erwähnung, dass die Erklärung des Brockengespenstes in keinerlei Beziehung stehen kann zu den übrigen Erscheinungen, mit denen Herr Iwanoff sie in Verbindung gebracht hat.

Herr F. A. Schulze berichtete **über Versuche,** die unter seiner und Herrn Karl Stuchtey's Leitung von den Herren K. Bangert und K. Goes **an Wehneltröhren** angestellt worden sind und noch weiter fortgesetzt werden.

1. Hervorrufung und Auslöschung von Kathodenstrahlen durch schnelle Potentialschwankungen.

Gelegentlich seiner Versuche zur Auffindung einer Methode, die magnetische Kraft am Lecherschen System direkt zu demonstriren, machte Herr Bangert im hiesigen Physikalischen Institut folgende Beobachtung. In der Absicht, die magnetische Kraft durch die Ablenkung von Kathodenstrahlen nachzuweisen, hatte er an der Stelle eines magnetischen Bauches dicht unterhalb der in einer horizontalen Ebene ausgespannten Lecherschen Drähte eine der von A. Wehnelt[1]) angegebenen Röhren zur Erzeugung sehr langsamer von einer mit CaO bestrichenen Kathode aus Platin ausgehenden Kathodenstrahlen aufgestellt. Bei einer bestimmten Spannungsdifferenz zwischen Kathode und Anode treten die Kathodenstrahlen in einer solchen Röhre spontan erst bei einer bestimmten „kritischen" Minimaltemperatur der Kathode auf, die über der Rotglut liegt, und für jede Röhre verschieden zu sein scheint. Herr Bangert fand nun, dass die Kathodenstrahlen bei derselben Spannungsdifferenz zwischen Kathode und Anode auch schon beträchtlich unterhalb dieser „kritischen" Temperatur auftraten, sowie die Wellen am Lecherschen System erzeugt wurden, und dass diese so künstlich unterhalb der kritischen Temperatur hervorgerufenen Kathodenstrahlen auch nach Abstellen der elektrischen Wellen bestehen blieben, falls die Temperatur der Kathode nicht allzuweit unterhalb der kritischen Temperatur lag, ebenso wie auch die spontan bei der „kritischen" Temperatur entstehenden Kathodenstrahlen bestehen bleiben, wenn die Temperatur der Kathode erniedrigt wird. Ging man mit der Temperatur der Kathode noch weiter hinunter, so blieben die bei in Gangsetzung des Lecherschen Systems

1) A. Wehnelt, Ann. d. Phys. **14.** p. 425. 1904.

hervorgerufenen Kathodenstrahlen nicht mehr weiter bestehen, sondern traten nur intermittirend auf und zwar im Tempo der Unterbrechungen des Induktoriums, das zur Hervorrufung der die Wellen erzeugenden Funkenstrecke benutzt war. Erniedrigte man die Temperatur der Kathode noch weiter, so kam schliesslich eine bestimmte Temperatur, bei der das Lechersche System die Kathodenstrahlen nicht mehr hervorrief.

Dieser „auslösenden“ Wirkung stand andererseits eine „hemmende“ Wirkung gegenüber. Erniedrigte man nämlich, nachdem die Kathodenstrahlen bei hoher Temperatur spontan entstanden waren, die Temperatur so weit, dass die Strahlen eben noch vorhanden waren, bei einer kleinen Vertiefung der Temperatur aber verschwunden wären, so wurden sie zum Verschwinden gebracht, sobald das Lechersche System in Gang gesetzt wurde. [1])

Die Weiterführung dieser Versuche ist von Herrn Goes übernommen. Es zeigte sich zunächst, dass die Anwesenheit des Lecherschen Systems für die Erscheinung unwesentlich ist; sie trat auch nach Fortlassung der Lecherschen Drähte in der gleichen Weise ein. Als Sitz des wesentlichen Faktors wurde schliesslich die Funkenstrecke an dem Teslaapparat erkannt, der den Blondlotschen Erreger speiste, von dem die Lecherschen Drähte ausgingen. Auch durch den Funken einer sog. (von W. Holtz [2]) erfundenen) Wimshurst-Maschine wird der Effekt hervorgebracht, und die weiteren Versuche wurden meist mit einer solchen bezw. noch einfacheren Mitteln ausgeführt.

Herr Prof. Richarz sprach die Vermutung aus, dass die Erscheinung herrühren könne von einer schnellen Potentialschwankung, die die Kathode der Wehneltröhre bei der Funkenentladung erfährt, und wies auf die Analogie mit einer gelegentlich von Herrn Pulfrich i. J. 1889 im Bonner Physikalischen

1) Diese Versuche sind von Herrn Bangert in seiner demnächst erscheinenden Dissertation (Citat siehe Seite 182, Anm. 2) beschrieben.

2) W. Holtz, Pogg. Ann. **136**. 173. 1869; **150**. 1. 1875; Centralblatt für Elektrotechnik 1883. 683.

Institut gemachten Beobachtung hin, wonach zwischen den Elektroden einer Elektrisirmaschine, die so weit von einander entfernt sind, dass eben noch kein Funke überspringt, die Funkenentladung sofort eintritt, sobald durch ein in der Nähe der Elektroden vorbeifallendes Schrotkorn oder dergl. eine momentane Änderung der Potentialdifferenz der Elektroden hervorgebracht wird. Im Sinne dieser Vermutung wurden die Versuche fortgesetzt, und es ergab sich dabei folgendes. Von wesentlicher Bedeutung ist die Stellung der Elektroden der Elektrisirmaschine zu der Kathode der Röhre. Die auslösende Wirkung tritt immer ein, wenn der negative Pol der Maschine der Kathode näher liegt als der positive. Sie bleibt aus, wenn die beiden Pole der Maschine gleich weit von der Kathode entfernt sind, oder gar wenn der positive Pol der nähere ist. Dabei ist es gleichgültig, wie die Maschine sonst zur Röhre steht, d. h. ob die Maschine der mit dem CaO-fleck bestrichenen Seite des Platinbleches oder der anderen Seite zugekehrt ist.

Umgekehrt tritt die hemmende Wirkung durch eine Entladung ein, wenn der positive Pol der Funkenstrecke näher an der Kathode liegt. Sind beide Pole der Maschine isolirt und stehen beide in gleicher Entfernung von der Kathode, so tritt weder der auslösende noch der hemmende Effekt ein. Die Auslösung tritt aber sofort wieder auf, sobald der positive Pol zur Erde geleitet wird. In der umgekehrten Weise tritt der hemmende Effekt ein, wenn der negative Pol geerdet wird. Nach diesen Versuchen rührt also der Effekt davon her, dass an der Stelle der Röhre eine Potentialschwankung, ein Potentialstoss eintritt, und zwar bei der Auslösung der Kathodenstrahlen derartig, dass das negative Potential der Kathode kurze Zeit gegen seinen vorherigen Wert erhöht, bei der Hemmung der Kathodenstrahlen erniedrigt wird.

Diese Vermutung wird wohl zur Gewissheit erhoben durch folgende Versuche. Stellt man in die Nähe der bis nahe an die kritische Temperatur erhitzten Kathode einen negativ geladenen Konduktor, so werden die Kathodenstrahlen ausgelöst, wenn man

den Konduktor, eine Metallkugel, ein geriebener Hartgummistab oder dergl. schnell entfernt oder entlädt. Die relative Stellung des Konduktors zur Kathode ist dabei völlig gleichgültig. Dasselbe lässt sich durch schnelles Nähern eines positiv geladenen Konduktors erreichen. Umgekehrt tritt der auslöschende Effekt ein, wenn man die Temperatur der die Kathodenstrahlen aussendenden Kathode bis nahe an die kritische herunterbringt und nun einen negativ geladenen Konduktor schnell nähert oder einen positiv geladenen schnell entfernt. Diese letzteren Versuche gelangen mit Sicherheit noch, wenn der Abstand des Konduktors von der Kathode etwa 50 cm betrug. Die Wirkung des Funkens der Elektrisirmaschine war jedoch durch die ganze Länge des Zimmers, bis auf 7 m Abstand, zu konstatiren und reicht zweifellos noch viel weiter. Zur Erzielung einer weiteren Wirkung in die Ferne erwies es sich als nützlich, die mit der unwirksamen Elektrode verbundene Leydnerflasche auszuschalten, dagegen an die wirksame Elektrode eine Kapacität, eine grosse Metallfläche oder eine Leydner Flasche anzulegen. Ferner zeigte es sich, dass der Effekt auf eine erheblich grössere Entfernung eintritt, wenn man bei der länglichen Röhre den Teil der Rohrwand, der an der Kathode liegt, mit Stanniol umgibt, das zur Erde abgeleitet ist.

Von Interesse ist noch, dasse jede Wirkung ausblieb, wenn die ganze Wehneltröhre von einem zur Erde abgeleiteten weitmaschigen Drahtkäfig umgeben wurde, der auf einer Staniolunterlage stand.

Die beschriebenen Versuche gelangen an allen drei zur Verfügung stehenden Wehneltröhren. Zwei von diesen hatten die von A. Wehnelt [1]) angegebene Formen. Die eine war die kugelförmige, die ausser der drahtförmigen Anode noch eine schräg in den Gang der Kathodenstrahlen gestellte Scheibe zur Demonstration der elektrostatischen Ablenkung besitzt; die andere

---

1) A. Wehnelt, Phys. Zeitschr. 6. p. 609. 1905.

war die längliche zu Messungen von $\frac{e}{m}$ und v bestimmte Form.

Die dritte Form war die von Herrn Bangert speciell zu seinen Zwecken angewandte Röhre, die von ihm in seiner Dissertation [1]) beschrieben und der vorigen ähnlich ist.

Am bequemsten zu den Versuchen war die kugelförmige Röhre, da für diese bei der Spannung von 65 Volt, wie sie in der hiesigen Institutsbatterie zur Verfügung steht, die kritischen Temperaturen am tiefsten, ungefähr bei heller Rotglut, liegen.

Die beschriebenen Erscheinungen berühren sich vielfach eng mit ähnlichen von Herrn O. Lehmann gemachten Beobachtungen über Hervorrufung und Auslöschung von elektrischen Entladungen und Kathodenstrahlen. (Verh. des Naturw. Vereines Karlsruhe 18. 1904/5).

Herr O. Lehmann fand z. B. u. a., dass ein zur Kathodenstrahlrichtung senkrechtes magnetisches Feld die Strahlen auslöschen kann. Analog wurde hier gefunden, dass der auslösende Effekt ausbleibt bei Vorhandensein eines magnetischen Feldes.

2. Auf der Rückseite der Pt-Kathode austretende Kathodenstrahlen.

An allen drei Röhren wurde beobachtet, dass ausser den von Wehnelt beschriebenen Kathodenstrahlen, die von dem CaO-fleck ausgehen, auch auf der Rückseite der Platinkathode von der dem CaO-fleck genau gegenüberliegenden Stelle ein Kathodenstrahlbündel ausgeht. Dieses hat ungefähr dieselbe Öffnung wie das vorn austretende Kathodenstrahlbündel. Seine Lichtstärke ist ziemlich bedeutend, wenn auch wesentlich geringer als diejenige des vorderen. Es ist bei mässig verdunkeltem Zimmer sehr gut zu sehen, namentlich in der kugelförmigen Röhre. Es ist nicht zu erkennen, ob es von dem CaO-fleck selbst ausgeht, also das etwa 0,1 mm dicke Platinblech

1) K. Bangert, Versuche zum Nachweis der magnetischen Oscillationen an Drähten. Inauguraldissert. Marburg 1907.

durchdringt, oder ob die Rückseite des Platinbleches sein Entstehungsort ist. Im Magnetfeld wird es natürlich entgegengesetzt abgelenkt wie das vordere Kathodenstrahlbündel, sodass dann beide zusammen den Anblick eines S oder einer 8 bieten. Es sollen noch genaue Messungen an diesen rückwärts austretenden Kathodenstrahlen gemacht werden, namentlich über ihre Geschwindigkeit. Dem Augenmass nach ist der Krümmungsradius beider Kathodenstrahlbündel in demselben Magnetfeld annähernd derselbe.

Anhangsweise möge noch folgende Beobachtung mitgeteilt werden, die an der kugelförmigen Röhre gemacht wurde, die die eingeschmolzene Scheibe zur Demonstration der elektrostatischen Ablenkung enthielt.

Ist die Scheibe isolirt, so verschwinden die spontan oder durch Funken erregten Kathodenstrahlen plötzlich, sowie die Temperatur der Kathode unter einen kritischen Minimalwert kommt, nachdem sie unmittelbar oberhalb dieser kritischen Temperatur noch in erheblicher Intensität vorhanden waren. Ganz anders dagegen ist das Verhalten, wenn man die Scheibe, auf welche die Kathodenstrahlen auftreffen, mit der Anode verbindet. Erniedrigt man nun die Temperatur der Kathode langsam, so verschwindet der Kathodenstrahl nicht plötzlich bei der kritischen Temperatur, sondern bleibt auch bei noch tiefer sinkender Temperatur bestehen; seine Intensität nimmt dabei langsam stetig ab, das Leuchten wird immer schwächer, ohne jedoch ganz aufzuhören; schliesslich, wenn die Temperatur schon unter die dunkle Rotglut heruntergegangen ist, wird das Leuchten so schwach, dass es mit dem Auge nicht mehr wahrzunehmen ist, ohne dass man jedoch irgendwie ein plötzliches Verschwinden bemerkt.

Im Zusammenhang hiermit steht folgende Erscheinung. Ist die Temperatur der Kathode so niedrig, dass die Kathodenstrahlen noch nicht spontan entstehen, so treten sie sofort auf,

wenn man mit der einen Hand die Scheibe, die „Antikathode," und mit der anderen Hand irgend eine anodischere Stelle des Stromkreises berührt. Da man diese Berührung als plötzliche Annäherung eines positiven Konduktors auffassen kann, so ist die Erscheinung im Einklang mit der Erklärung zu den im ersten Abschnitt beschriebenen Versuchen.

Von Interesse sind ferner noch folgende Beobachtungen: Lädt man in der von Wehnelt angegebenen kugelförmigen Röhre die Scheibe, auf die die Kathodenstrahlen auftreffen, negativ, so wird der Strahl in bekannter Weise in einer Parabel abgestossen. Erniedrigt man nun langsam die Temperatur der Kathode, so wird die Abstossung stärker, der Scheitel der Parabel entfernt sich mehr von der Kathode. Wie Herr Professor Richarz bemerkte, ist der Parabelbogen von einem nach der Kathode hin scharfbegrenzten etwa 0,5 mm breiten schwarzen Schatten durchsetzt, der der Scheibe etwa parallel läuft. Seine Entfernung von der Scheibe beträgt bei hoher Temperatur der Kathode etwa 0,5 cm; mit abnehmender Temperatur der Kathode wird diese Entfernung grösser, die Begrenzung verwaschener; kurz vor dem Verschwinden des Kathodenstrahles beträgt die Entfernung ungefähr 1 cm.

Schliesslich sei noch eine Erscheinung erwähnt, die bereits Herr Bangert beschrieben hat, und sowohl an der länglichen von Wehnelt angegebenen Röhrenform, als auch an der bereits erwähnten für die speciellen Zwecke des Herrn Bangert konstruirten Röhre zu sehen ist. Lenkt man nämlich die ursprünglich auf die kreisscheibenförmige Anode auftreffenden Kathodenstrahlen durch einen Magneten so stark ab, dass sie nicht mehr die Anode treffen, so bildet sich über dieser als Basis eine genau halbkugelförmige bläuliche Lichthaube. (Wahrscheinlich positives Licht.)

Alle diese Erscheinungen werden im Institut noch weiter untersucht.

Sodann trug Herr Dr. A. Wigand (als Gast) vor:

Über die Gültigkeit des Gesetzes von Dulong und Petit.

Das Dulong-Petitsche Gesetz von der Konstanz der Atomwärme ist für den Chemiker zur Bestimmung des Atomgewichts der festen Elemente ein unentbehrliches Hülfsmittel. Wie steht es aber mit seiner strengen Gültigkeit, da es doch offenbar soviele Ausnahmen davon giebt? Oder kommt ihm nur der Wert einer Regel zu, die zwar praktisch innerhalb gewisser Grenzen recht gut brauchbar ist, jedoch nicht den Anspruch erheben kann, ein exaktes Naturgesetz zu sein.

Derartige Zweifel tauchen hin und wieder auf und scheinen immer mehr an Boden zu gewinnen, je mehr neuere Untersuchungen zeigen, dass die spezifische Wärme gar keine Konstante ist, sondern für viele Körper je nach der Temperatur innerhalb weiter Grenzen schwankt.

Der Grundfehler bei solchen Überlegungen liegt aber darin, dass man das Gesetz von der Konstanz der Atomwärme nicht richtig formuliert und ihm zumutet, was es seiner Natur nach überhaupt nicht leisten kann.

Wenn wir im Auge behalten, unter welchen Einschränkungen dieses Gesetz aus der kinetischen Theorie der festen Körper abgeleitet wird,[1]) und wie es dort in seiner prägnanten Formulierung lautet, so ist nicht zu verwundern, dass sich bei dem Versuche, es allgemeiner anzuwenden, neben der grossen Anzahl bestätigender Fälle auch Ausnahmen herausstellen.

Zunächst ist zu beachten, dass man für die festen Körper experimentell die spezifische Wärme bei konstantem Drucke (C_p) bestimmt. Aus der Theorie ergiebt sich aber nur die Atomwärme bei konstantem Volumen:

$$A \cdot C_v = 6{,}012.$$

---

1) F. Richarz, Wied. Ann. **48**. p. 708. 1893; **67**. p. 704. 1899. Naturw. Rdsch. **9**. p. 221 u. 237. 1894; **15**. p. 221. 1900; Limpricht-Festschr., Greifsw. 1900; Sitzungsber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturw. zu Marburg **6**. p. 61, 1904; **7**. p. 100. 1905; A. Wigand, Inaug.-Diss. Marburg 1905.

Für $A \cdot C_p$ lässt sich kein bestimmter Zahlenwert allgemein herausrechnen, da die Differenz $(C_p - C_v)$ meist nicht genügend bekannt ist, jedenfalls aber für verschiedene Elemente verschiedene Werte hat. Also kann man schon deshalb nicht einen für alle Elemente gültigen genauen Zahlenwert von $A \cdot C_p$ erwarten.

Wohl aber kann man sagen: Es giebt für jedes Element ein Temperaturintervall, innerhalb dessen es dem Gesetze von Dulong und Petit gehorcht. Zu diesem Schlusse kam bereits H. F. Weber[1]) durch seine wichtigen Versuche über die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme von *C*, *Si* und *B*. In dem Kurvensystem der beigefügten Tafel ist dies schön zu erkennen. Es ist hier die Atomwärme[2]) als Funktion der Temperatur graphisch dargestellt. Die erforderlichen experimentellen Daten sind zum grössten Teil den Physik.-Chem. Tabellen von Landolt-Börnstein-Meyerhoffer (3. Aufl. 1905) entnommen. Der Gültigkeitsbereich des Gesetzes ist durch zwei vertikale Linien bei den Atomwärmen 6 und 6,5 eingegrenzt. Sie schliessen für jede Kurve etwa das Gebiet ein, innerhalb dessen die Atombewegung in der bei der Richarzschen Theorie vorausgesetzten Weise vor sich gehen kann.

Es ergiebt sich aus der Theorie, dass Elemente mit kleinem Atomgewicht oder kleinem Atomvolumen, zumal aber wenn beides zusammenkommt, das Dulong-Petitsche Gesetz nicht befolgen können, dass ihre Atomwärmen zu klein ausfallen. Das Atomgewicht eines Elementes wird als unveränderliche Konstante angesehen. Das Atomvolumen jedoch nimmt mit steigender Temperatur infolge der thermischen Ausdehnung zu; folgt also, dass solche Elemente (von nicht zu kleinem Atomgewicht), die bei niedriger Temperatur wegen ihres

1) H. F. Weber, Pogg. Ann. 154. p. 367, 553. 1875.

2) Für andere Zwecke ist die seit H. F. Weber und U. Behn (Ann. d. Phys. IV. F. 1. p. 257. 1900) übliche Darstellung der spezifischen Wärme als Funktion der Temperatur günstiger. Vgl. auch A. Wigand, Inaug.-Diss., Marburg 1905; Ann. d. Phys. IV. F. 22. p. 99. 1907.

zu kleinen Atomvolumens unter dem Normalwert der Atomwärme bleiben, bei höheren Temperaturen diesen Wert erreichen können. Das ist in der Tafel z. B. bei *Fe*, *Cu*, *Zn* und *Ag* zu sehn. Elemente von grossem Atomgewicht und relativ grossem Atomvolumen, wie *Pb* und *Bi*, treten schon bei tieferen Temperaturen in den Geltungsbereich ein. Ist das Atomgewicht zusammen mit dem Atomvolumen sehr klein, wie bei *C* und *B*, so erfolgt der Eintritt in den Gültigkeitsbereich erst bei sehr hoher Temperatur.

Für einige Elemente (z. B. *Pb*, *Sn*, *K*, *Na* und *Li*) liegt der Geltungsbereich des Dulong-Petitschen Gesetzes nahe unter dem Schmelzpunkt (oder einem andern Umwandlungspunkt), wo infolge der Umwandlung latente Wärme aufgenommen wird. Diese latente Wärme erklärt es, dass solche Elemente bei höheren Temperaturen Atomwärmen ergeben, die den Normalwert bedeutend überschreiten. Bei der Messung der mittleren spezifischen Wärme ist hier latente Wärme mit eingegangen; die Verhältnisse der Atomenergie sind auch hier, gerade wie bei den Unterschreitungen des Normalwertes für die Atomwärme, komplizierter geworden, als es die Theorie des Dulong-Petitschen Gesetzes annimmt. Die Zuhilfenahme von latenter Wärme wird jedoch nicht in allen Fällen ausreichen, um die grossen Atomwärmen zu erklären.

Hierzu bemerkte Herr F. Richarz, dass die vorstehende sehr verdienstliche Zusammenstellung in der Tat die Erwartungen erfülle, mit denen er Herrn A. Wigand zur graphischen Darstellung der Atomwärme als Funktion der Temperatur veranlasst habe. Es seien aus ihr die Gültigkeitsgrenzen des fraglichen Gesetzes anschaulich erkennbar, und sie führe ihn zu

Erweiterungen seiner Theorie des Gesetzes von Dulong und Petit

I.

Meine Theorie ergibt, wie Herr A. Wigand richtig hervorgehoben hat, Constanz der Atomwärme fester Elemente, und

zwar den Wert 6,012, selbst bei Erfüllung der Voraussetzungen über die Atombewegung doch nur für die spezifischen Wärmen bei constantem Volumen, während die beobachteten Werte diejenigen bei constantem Druck sind, nämlich einfach bei Atmosphärendruck. Diese Werte liegen auch der graphischen Darstellung von Herrn Wigand zu Grunde. Dass die daraus folgenden Atomwärmen auch bei Erfüllung der obigen Voraussetzungen grösser sein müssen als die theoretische 6,012, habe ich bereits in dem ersten Vortrage über meine Theorie vor der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin (Sitzung vom 24. Febr. 1893) hervorgehoben. (Siehe auch Wied. Ann. **48**, pag. 712, 1893). Weiter möchte ich jetzt auf die Abhängigkeit der Differenz der beiden spezifischen Wärmen von der Temperatur aufmerksam machen. Die kinetische Theorie eines „idealen“ — wenn ich so sagen darf — festen Elementes verlangt zwar, wie ich a. a. O. gezeigt habe, Constanz der spezifischen Wärme C_v für constantes Volumen. Aber selbst bei erfüllter Constanz von C_v folgt doch aus der Thermodynamik, dass C_p von der Temperatur im Allgemeinen abhängig sei und zwar mit ihr zunehmen wird. Dies geht hervor aus der Formel für die Differenz der beiden spezifischen Wärmen bei beliebigen Körpern, die sich aus dem 2. Hauptsatze der Thermodynamik ergibt. Sie lautet:

$$J.(C_p - C_v).\frac{\partial v}{\partial p} = -\vartheta\left(\frac{\partial v}{\partial \vartheta}\right)^2$$

Ihre Ableitung siehe z. B. bei Helmholtz, Vorles. über theoretische Physik, Bd. VI, pag. 227. In ihr bedeutet J (zur Erinnerung an J. P. Joule in der Helmholtz'schen Bezeichnungsweise) das mechanische Wärmeäquivalent, v Volumen, p Druck, ϑ absolute Temperatur. Bisher ist diese Formel nützlich nur verwendet worden zur Voraussage, dass für alle Körper $C_p > C_v$ ist; und von mir selbst zur numerischen Berechnung, um wieviel C_p grösser sein kann als C_v. Letztere Berechung hat bei Elementen, für welche die erforderlichen experimentellen Daten bekannt sind, bis zu 4% grössere Werte ergeben. Es folgt aber aus jener

Formel auch, Constanz von C_v wie oben vorausgesetzt, dass C_p allgemein mit der Temperatur wachsen wird. Auf der rechten Seite jener Formel wächst ausser ϑ selbst auch $\frac{\partial v}{\partial \vartheta}$ mit der Temperatur. Denn sein Wert ist gegeben durch den thermischen Ausdehnungscoeffizienten; dieser aber wächst nach den Zahlen in Landolt-Börnsteins Tabellen, 1905, pag. 198 ff., pag. 206/7 fast ausnahmslos bei festen Elementen mit der Temperatur (ausser für Pennsylvanischen Anthracit, für krystallisirtes Tellur zwischen 60° und 100°, sowie nach Fizeau für Zink zwischen 40° und 50° (l. c. pag. 200), während nach Matthiesen (l. c. pag. 207) auch für Zink die thermische Ausdehnung mit wachsender Temperatur steigt. Der selbstverständlich stets negative Wert von $\frac{\partial v}{\partial p}$ ist bestimmt durch die kubische Compressibilität. Direkte Angaben über deren Temperatur-Abhängigkeit bei festen Körpern kann ich in der Literatur nicht finden. Dagegen lässt sich zunächst für einige feste Substanzen aus den Resultaten der Inaugural-Dissertation „Einfluss der Temperatur auf die Elastizität der Metalle“ von N. Katzenelsohn, Berlin 1887, die thermische Veränderung der kubischen Compressibilität C berechnen. Katzenelsohn ermittelt unmittelbar die Veränderung des Torsionsmoduls T und Elastizitätsmoduls E von 0 bis 100°. Beide nehmen ab und zwar T stärker als E (pag. 71 der Diss.). Aus der Formel: $C = (9/E) - (3/T)$ lässt sich durch Differenzieren eine solche für die Änderung von C ableiten: $\delta C = (3\ \delta T/T^2) - 9\ \delta E/E^2)$. Setzt man in sie die Werte von Katzenelsohn (Seite 62 der Dissertation) ein, so erhält man für die kubische Compressibilität fast durchweg Abnahme mit der Temperatur; Zunahme nur bei Gold, legirt mit geringen Beimischungen, welche (pag. 50 und 53 der Dissertation) seine elastischen Eigenschaften aber sehr stark alteriren; und bei Aluminium, für welches die Berechnung bei 100° wegen der grossen elastischen Nachwirkung nur durch sehr unsichere Extrapolation möglich war (pag. 57—59 der Dissertation). Lassen wir die (übrigens ebenfalls im gleichen

Sinne verlaufenden Zahlen für die) Legierungen Neusilber und Messing weg, so ergibt sich aus den Katzenelsohn'schen Resultaten Abnahme der kubischen Compressibilität mit steigender Temperatur für Platin, Eisen, Silber. Statt der unzuverlässigen Zunahme für Gold und Aluminium geht aus den Daten anderer Beobachter ebenfalls Abnahme hervor. Es hat nämlich weiterhin Clemens Schaefer (siehe Landolt-Börnsteins Tabellen 1905, pag. 43) für Aluminium, Eisen, Kupfer, Nickel, Palladium, Platin, Silber dieselben Grössen wie Katzenelsohn gemessen; seine Resultate lassen für die ersteren 6 Substanzen Abnahme der kubischen Compressibilität mit Temperaturerhöhung in der obigen Weise berechnen; nur für Silber Zunahme, wofür Katzenelsohn aber auch Abnahme fand. Sodann haben Gray, Blyth und Dunlop (L.-B.'s Tabellen, pag. 45) von Elementen für Eisen nnd Kupfer die erforderlichen Messungen gemacht, deren Verwertung ebenfalls Abnahme der kubischen Compressibilität bei steigender Temperatur ergibt. Bei gezogenem Kupfer jedoch ergibt die Berechnung Zunahme; Ziehen verändert die elastischen Eigenschaften, wie die Zahlen jener Beobachter zeigen, sehr; die Werte für das gezogene Metall können nicht als normale betrachtet werden. Endlich kann man noch Werte für E, δE, T, δT von verschiedenen Beobachtern zur Berechnung combiniren. So bei Blei Werte für E und δE von Wertheim (L.-B.'s Tabellen pag. 44) mit denen für T und δT von Clemens Schaefer; bei Gold Werte für E und δE von Wertheim mit denen für T von Voigt (L.-B.'s Tabellen pag. 45) und für δT von Katzenelsohn oder Clemens Schaefer; bei Zink Werte von dem letzteren für E, T, δT mit dem für δE von Ant. Wasmuth, Sitz.-Ber. d. Wiener Akad. **115**, p. 223, 1906. Diese Berechnungen für Blei, Gold, Zink ergeben dann ebenfalls Abnahme der Compressibilität bei Erwärmung, welches Verhalten also jedenfalls die Regel bildet.

Kehren wir zu der obigen Formel auf Seite 188 zurück, so finden wir also Zunahme beider Faktoren der rechten Seite,

Abnahme des absoluten Wertes von $\partial v/\partial p$ auf der linken Seite mit steigender Temperatur. Constanz von C_v aus den kinetischen Gründen angenommen, folgt also Zunahme von C_p mit der Temperatur bei festen Elementen, wie in der Tat die Tafel von Herrn A. Wigand zeigt. Die Grösse dieser Zunahme soll fernerhin, soweit die Daten dazu vorliegen, berechnet werden.

Auf einen Umstand möge aber schon jetzt hingewiesen werden. Die obige Differentialformel für δC auf Seite 189 zeigt, dass bei grossen Werten für δT cet. par. auch gleichsinnige grosse Werte für δC zu erwarten sind. Nach dem Vorhergehenden ist dann auch starke Zunahme der spezifischen Wärme mit der Temperatur zu vermuten. Nun fallen in der Tafel von Herrn Dr. A. Wigand die stark geneigten Kurven für Kalium, Natrium und Lithium auf. Gerade die Alkalimetalle haben aber nach den Messungen von Clemens Schaefer auch die grössten Werte von δT unter allen von ihm untersuchten Substanzen. Nach dem Auseinandergesetzten ist daher zu vermuten, dass für sie die starke Zunahme von C_p mit der Temperatur in starker Abnahme der kubischen Compressibilität mit dieser ihre Erklärung findet.

II.

Im Vorstehenden ist entsprechend den Resultaten meiner Theorie des Gesetzes von Dulong und Petit Constanz von C_v für einen „idealen“ festen Körper angenommen worden. Die dazu führende Ableitung aus dem Virialsatz soll nun noch zu verallgemeinern versucht werden. Die Ableitungen, auf die ich mich beziehe, finden sich auf Seite 710 und 711 in Wied. Ann. 48, 1893. Ihre Voraussetzungen sind, dass die Wärmebewegung eines Atoms eines festen Körpers in unregelmässigen Oscillationen um eine Lage stabilen Gleichgewichts besteht. Die Kraft welche das Atom in diese Lage zurückzuführen bestrebt ist, ist die Resultante der von den Nachbaratomen ausgeübten Kräfte. Die Lage des betrachteten Atoms sei charakterisirt durch die

Coordinaten xyz seines Schwerpunktes bezogen auf die in der Lage stabilen Gleichgewichts als Anfangspunkt. Streng genommen verändert sich die Gleichgewichtslage eines Atoms fortwährend infolge der Bewegung der benachbarten Atome. Die mittlere Gleichgewichtslage aber bleibt unverändert (l. c. pag. 710, Anm. 2). Die damals gemachte Voraussetzung, die Atome als materielle Punkte betrachten zu dürfen, sollte nur den Sinn haben, dass die Atome sich wie starre Körper bewegen und innerhalb des Atoms keine rotatorische oder andere Energie besitzen, bezw. diese Energien nicht verändern sollten. Bei Entwickelung in eine Potenzreihe nach xyz ergab sich dann für die potentielle Energie φ der auf das Atom während seiner Bewegung wirkenden Kräfte der Nachbarn im Mittel:

$$\overline{\varphi} = \overline{F_2} + \overline{F_3} + \overline{F_4} + \ldots .$$

wo die Funktionen F_n homogen nten Grades nach xyz waren, und wo die Balken die Mittelwerte über eine lange Zeit genommen bedeuten. Nach dem Clausius'schen Satz vom Virial folgte alsdann für die mittlere lebendige Kraft des Atoms:

$$\overline{L} = \overline{F_2} + \frac{3}{2}\overline{F_3} + 2\overline{F_4} + \ldots .$$

Für die gesammte mittlere Energie des Atoms folgt:

$$\overline{E} = \overline{\varphi} + \overline{L} = 2\overline{L} - \frac{1}{2}\overline{F_3} - \overline{F_4} - \ldots - \left(\frac{n}{2} - 1\right)\overline{F_n} - \ldots$$

Ein „idealer" fester Körper wäre nun ein solcher, bei dem die Verrückungen des Atom-Schwerpunkts aus der Gleichgewichtslage immer nur klein bleiben gegenüber den Abständen des betrachteten Schwerpunktes von den Schwerpunkten der benachbarten Atome. Wie ich damals zeigte, können dann die $F_3, F_4 \ldots$ vernachlässigt werden; es folgt $\overline{E} = 2\overline{L}$ und man gelangt zur Gültigkeit des Gesetzes von Dulong und Petit für C_v mit dem Werte $A \cdot C_v = 6{,}012$.

Führen wir jetzt aber die für einen „idealen" festen Körper gemachten Voraussetzungen nicht ein, so können wir noch folgendes ableiten. Wenn N die Zahl der Atome im Grammatom-

gewicht A bedeutet, also eine absolut constante und für alle Substanzen gleiche Zahl, so wird die Energie des Grammatomgewichtes A:

$$N \cdot \overline{E} = 2\,N\overline{L} - \frac{N}{2}\,\overline{F}_3 - N \cdot \overline{F}_4 - \ldots$$

Dabei ist Constanz des Volumens vorauszusetzen; denn sonst müsste noch berücksichtigt werden der Energieaufwand für Überwindung der Cohäsionskräfte der Atome untereinander bei der Vermehrung ihrer gegenseitigen Abstände. Dieser Energieaufwand bedingt bei festen Körpern und Flüssigkeiten $C_p > C_v$, während bei ihnen die Arbeit gegen den etwaigen äusseren Druck nur untergeordnet in Betracht kommt.

Die lebendige Kraft je eines Atomes $\overline{L}$ ist unabhängig von der Natur der betrachteten Substanz. Für ein einatomiges Gas ist $N\overline{L}$ die innere Energie des Grammatomgewichtes, also gleich der inneren Energie U der Masseneinheit multiplicirt mit dem Atomgewicht:

$$N\overline{L} = AU.$$

Der Wert von U ist (siehe z. B. Helmholtz, Vorlesungen, Bd. VI, pag. 405, § 97):

$$U = J \cdot c_v \cdot \vartheta.$$

Also bei einem einatomigen Gase

$$N \cdot \overline{L} = A \cdot J \cdot c_v \cdot \vartheta.$$

Wie ich früher (z. B. Wied. Ann. **67**, pag. 705, 1899) berechnet habe (siehe auch die sehr interessante Beziehung bei M. Planck, Theorie der Strahlung, Leipzig 1906, pag. 147), ist für ein einatomiges Gas die Atomwärme:

$$A \cdot c_v = 3{,}006.$$

Mithin wird

$$N\overline{L} = 3{,}006 \cdot J \cdot \vartheta$$

und bei einem festen Element die Energie des Grammatomgewichtes:

$$N \cdot \overline{E} = 6{,}012 \cdot J \cdot \vartheta - \frac{N}{2} \cdot \overline{F}_3 - N \cdot \overline{F}_4 - \ldots.$$

woraus durch Differentiation nach ϑ:

$$\frac{dN\cdot\overline{E}}{d\vartheta} = 6{,}012\cdot J - N\cdot\frac{d}{d\vartheta}\left(\frac{\overline{F}_3}{2} + \overline{F}_4 + \ldots\ldots\right)$$

Die linke Seite bedeutet das mechanische Aquivalent der dem Grammatom bei constantem Volumen pro Grad zuzuführenden Wärmemenge, also $J\cdot A\cdot C_v$, und es wird daher:

$$A\cdot C_v = 6{,}012 - \frac{N}{J}\cdot\frac{d}{d\vartheta}\left(\frac{\overline{F}_3}{2} + \overline{F}_4 + \ldots\ldots\right)$$

Dies wäre der erweiterte theoretische Ausdruck des Dulong-Petitschen Gesetzes für die Atomwärme eines festen Elementes. Er lässt sich noch ein wenig vereinfachen. $\overline{F}_3$ wird nämlich verschwinden, wenn nicht irgend eine Richtung, in welcher sich das Atom aus seiner Gleichgewichtslage entfernen kann, bevorzugt sein würde gegenüber der gleichen aber entgegengesetzten Richtung. Eine solche Bevorzugung kann man schwerlich annehmen. Bei ihrem Ausschluss werden die Mittelwerte aller Glieder von $\overline{F}_3$ einzeln verschwinden. Denn sie sind alle dritten Grades nach x, y, z, sodass — bei gleichmässigem Vorkommen positiver und negativer Werte von x, y, z selbst — auch die Mittelwerte aller Ausdrücke dritten Grades verschwinden müssen. Bleibt also:

$$A\cdot C_v = 6{,}012 - \frac{N}{J}\cdot\frac{d\overline{F}_4}{d\vartheta}$$

als nächste Erweiterung, wenn das Glied mit F_6 nunmehr vernachlässigt wird; denn $\overline{F}_5$ wird aus demselben Grunde verschwinden, wie $\overline{F}_3$.

Welchen Wert nun aber das Glied annehmen wird, das gegenüber der Theorie eines „idealen“ festen Körpers hinzugetreten ist, kann erst nach genauerem Eingehen auf die Kräfte gesagt werden, welche zwischen den einzelnen Atomen wirksam sind. Zunächst ist nicht zu ersehen, weshalb nicht dieses Glied ebensowohl positiv wie negativ sein könnte. Ferner werden die Kräfte der Nachbaratome auf das betrachtete Atom mit der Temperatur sich sehr wohl in der Weise ändern können, dass $d\overline{F}_4/d\vartheta$

auch seinerseits noch Funktion von ϑ ist. In diesem Falle würde auch C_v von der Temperatur abhängig werden, und diese Abhängigkeit würde hinzutreten zu derjenigen, die für $(C_p - C_v)$ aus den im obigen Abschnitt I auseinandergesetzten Gründen folgt; beide Ursachen machen sich dann in dem experimentell beobachten C_p geltend.

Auf die in meinen früheren Arbeiten angestellten und bestätigt gefundenen Überlegungen, die Ausnahmen vom Gesetz von Dulong und Petit betreffend, welche Überlegungen teilweise in vorstehenden Erweiterungen der Theorie implicite mit enthalten sind, soll hier nicht nochmals näher eingegangen werden.

— Nachtrag bei der Korrektur. — Im soeben erschienenen Januarheft der Annalen der Physik veröffentlicht Herr A. Einstein eine sehr interessante Arbeit über die Planck'sche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme, welche anknüpft an die Beziehungen zwischen beiden, die auch ich oben (pag. 193) nach Plancks Werk bereits citirte. Herrn A. Einsteins molekular-kinetische Überlegungen sind insofern beschränkter gegenüber den meinigen, als er lediglich Sinusschwingungen der Atome annimmt, während der Virialsatz in seiner Allgemeinheit auch Abweichungen hiervon zulässt. Gerade dadurch bin ich auf den Einfluss von Atomgewicht und Atomvolumen geführt worden, insbesondere auf den Einfluss des Zusammentreffens kleiner Werte beider bei Beryllium, Bor und Kohlenstoff in erster Linie; Magnesium, Aluminium, Silicium, Phosphor und Schwefel in zweiter Linie. Herr A. Einstein gibt aber für Isolatoren einen neuen möglichen Gesichtspunkt zur Erklärung von Werten der Atomwärme, die vom normalen des Gesetzes von Dulong und Petit abweichen. Die von ihm hervorgehobene Ursache kann in gewissen Fällen jene Abweichungen bedingen; in anderen Fällen die von mir aus meiner Theorie gefolgerten und bestätigt gefundenen. Bei dem heuristen Wert und dem Erfolg

in Bezug auf Bestätigung von Consequenzen, die ich mit meiner Theorie gefunden und noch fortgesetzt finde (s. die folg. Mitt. v. Herrn Wigand), werde ich in meiner Betrachtungsweise fortfahren, neben welcher, unabhängig von ihr, auch die Betrachtung etwaiger Eigenschwingungen schwingungsfähiger Elementarquanten in einzelnen Fällen zweifellos zu interessanten Resultaten führen kann.

Herr Dr. A. Wigand sprach weiter noch:

Über die Allotropie beim Zinn und Schwefel.

In der Novembersitzung des vorigen Jahres[1]) trug Herr Prof. Richarz vor über Konsequenzen, die sich aus seiner Theorie des Dulong-Petitschen Gesetzes ergeben hatten und deren Bestätigung den Inhalt meiner Doktorarbeit[2]) bildete. Das Wichtigste war die Regel, dass für allotrope Modifikationen eines Elementes die spezifischen Wärmen um so grösser sind, je kleiner die spezifischen Gewichte sind.

Diese Regel fand sich überall bestätigt ausser beim Zinn. Es wurde jedoch schon vermutet, dass die bisher bekannte spezifische Wärme des grauen Zinns deshalb unzuverlässig sei, weil die Temperatur, bei der sich graues Zinn in weisses umwandelt, wesentlich überschritten worden war.

Dass die weisse Form die dichtere ist, steht durch mehrere Bestimmungen fest und ist auch dadurch ganz augenfällig, dass weisses Zinn bei der Umwandlung in die graue Form auf seiner ursprünglich glatten Oberfläche Hebungen entwickelt und so an Volumen zunimmt (Demonstration von Abbildungen). Für die spezifische Wärme zwischen 0^0 und 100^0 fand jedoch Bunsen[3]):

1) F. Richarz, Sitzungsber. der Ges. zur Bef. der ges. Naturw. 7. p. 100. 1905.

2) A. Wigand, Inaug.-Diss. Marburg 1905; Ann. der Physik IV. F. 22. p. 64 u. 99. 1907.

3) R. Bunsen, Pogg. Ann. **141**. p. 27. 1870.

$\bar{C}_{0-100} = 0{,}0559$ . . . . . weiss
$= 0{,}0545$ . . . . . grau

Der Wert für weisses Zinn ist von anderen Beobachtern und mir bestätigt worden. Für graues Zinn habe ich neue Bestimmungen gemacht und ein wesentlich anderes Resultat als Bunsen gefunden: Auch beim Zinn hat die spezifisch leichtere, graue Modifikation eine grössere spezifische Wärme als die dichtere, weisse Form.

Das graue Zinn ist nur unterhalb + 20° beständig und wandelt sich bei Überschreitung dieser Temperatur leicht in das weisse um. Der Bunsensche Wert für die spezifische Wärme ist daher unzuverlässig; denn bei der Erwärmung bis auf 100° ist der Umwandlungspunkt wesentlich überschritten worden. Die spezifische Wärme, die Bunsen für dieses „allotrope" Zinn fand, kommt der für weisses Zinn auch sehr nahe.

Der umgekehrte Prozess, die Verwandlung des weissen in das graue Zinn unterhalb 20°, geht nicht so leicht von statten und bedarf meist längerer Zeit. Das Optimum der Umwandlung ist — 48°.

Der Güte von Herrn Prof. K. Schaum verdanke ich das zu meinen Versuchen benutzte graue Zinn. Es war reines Zinn, hellgrau, glanzlos und von stänglichkörniger Beschaffenheit. Bei einer ersten Versuchsreihe beschränkte ich mich darauf, das Präparat mehrere Tage lang auf — 20° abzukühlen, und bestimmte dann seine spezifische Wärme zwischen 0° und 41°; denn ich nahm auf Grund einiger Angaben der Literatur an, dass bei einer nicht allzu starken Überschreitung des Umwandlungspunktes die Beständigkeit der grauen Modifikation nicht sehr gefährdet sei, zumal wenn sie von Spuren weissen Zinnes frei war. Ich fand jedoch für die spezifische Wärme einen Wert ($\bar{C}_{0-41} = 0{,}0528$), der noch kleiner ist als der Bunsensche, sich ihm aber gut anreiht, wenn man die verschiedenen Temperaturbereiche beachtet; denn die spezifische Wärme wächst im allgemeinen mit steigender Temperatur. Das Ergebnis dieser ersten Versuche ist auch geradeso wie Bunsens Resultat zu bewerten.

Um ganz sicher zu sein, dass das untersuchte graue Zinn kein weisses enthalte, unterzog ich es vor einer zweiten Versuchsreihe einer längeren Vorbehandlung. Das Präparat wurde mehrere Stunden lang zuerst in einer $CaCl_2$-Eismischung auf -35^0, sodann in einer CO_2-Äthermischung auf -77^0 abgekühlt. Nachdem es sich darauf 2 Stunden in flüssiger Luft (-188^0) befunden hatte, bewahrte ich es schliesslich fast 8 Monate lang im Salzwasser einer Ammoniakeismaschine (-6^0) der Boppschen Brauerei auf. Nach dieser Behandlung war das Zinn schwarzgrau, matt (beim Zerreiben mit dem Messer schwarzglänzend wie Graphit) und von körniger Beschaffenheit. Zur Bestimmung seiner spezifischen Wärme erwärmte ich es nicht über den Umwandlungspunkt und fand den Wert:

$$\bar{C}_{0-18} = 0{,}05895,$$

der sich der Richarzschen Regel fügt.

Zur Kontrolle wurde noch die spezifische Wärme des durch Umschmelzen aus dem grauen Zinn entstandenen weissen Zinnes bestimmt und in Übereinstimmung mit früheren Beobachtern zu: $\bar{C}_{0-21} = 0{,}05417$ gefunden.

Die spezifische Wärme des roten Phosphors und der kristallisierten Schwefelformen habe ich von neuem untersucht, wobei auch auf die Temperaturabhängigkeit besonders geachtet wurde. Die bisherigen Zahlen wurden dadurch etwas modifiziert, ohne dass sich jedoch das bestätigende Verhalten dieser Elemente zur Richarzschen Regel geändert hätte[1]):

Substanz	Modifikation	Spez. Gewicht	Spez. Wärme	Temperatur (zur spez. W.)
Phosphor	rot	2,296	0,1829	0—51
	gelb	1,828	0,202	13—36
Schwefel	rhombisch	2,06	0,1728	0—54
	monoklin	1,96	0,1809	0—52

1) Ausführliche Mitteilung: A. Wigand, Preisarbeit, Abhandl. der Société Batave, Rotterdam 1906, W. J. van Hengel; Ann. d. Phys. IV. F. 22, p. 64. 1907.

Ausser den kristallisierten kennt man zwei bei gewöhnlicher Temperatur amorphe Schwefelmodifikationen: 1) die in Schwefelkohlenstoff (CS_2) lösliche, die als unterkühlter Schmelzfluss des kristallisierten Schwefels anzusehen ist; 2) die in CS_2 unlösliche, die sich beim Erhitzen des Schmelzflusses bildet und sich auch bei niederer Temperatur längere Zeit hält. Auch für diese Modifikationen stehen nach meinen früheren Untersuchungen Dichte und spezifische Wärme im umgekehrten Verhältnis.[1])

Die neueren Arbeiten von Smith, Holmes und Hall sowie von Hoffmann und Rothe haben zusammen mit den älteren Untersuchungen von Schaum und Küster die merkwürdigen Eigenschaften des flüssigen und amorphen Schwefels bis zu einem gewissen Grade aufgeklärt.[2])

Die beobachteten Erscheinungen sind folgende: Erwärmt man den flüssigen Schwefel von seinem Erstarrungspunkte an, der nach der neusten Bestimmung von Smith und Holmes bei 119,25° liegt, allmählich bis zu seinem Siedepunkte (448°), so beobachtet man eine andauernde Änderung seiner Eigenschaften. Die Farbe geht von gelb in braunrot über, die Viskosität ändert sich von der Leichtflüssigkeit bis zur Zähigkeit; bei etwa 160° ist deutlich eine starke Wärmeabsorption sowie eine Unstetigkeit in der Ausdehnung zu bemerken. Wenn man ferner den flüssigen Schwefel in kaltem Wasser (oder noch besser in abgekühltem Alkohol) abschreckt, so erhält man den plastischen Schwefel, der aus zwei Teilen besteht, einem in CS_2 löslichen

1) F. Richarz, l. c. p. 109. A. Wigand, Inaug.-Diss. Marburg 1905; Ann. d. Phys. IV, F. 22, p. 64. 1907; daselbst auch Näheres über Darstellung und Untersuchung des amorphen Schwefels.

2) K. Schaum, Ann. d. Chem. **300**. p. 208. 1898; **308**. p. 18. 1899; die Arten der Isomerie, Habilitationsschr. p. 52. Marburg 1897; F. W. Küster, Zeitschr. f. anorg. Chem. **18**. p. 365. 1898; F. Hoffmann u. R. Rothe, Zeitschr. f. Instrumentenk. **25**. p. 273. 1905; Zeitschrift f. phys. Chem. **35**. p. 113. 1906; A. Smith, W. B. Holmes u. E. S. Hall, Chem. Ber. **35**. p. 2992. 1902; Zeitschr. f. phys. Chem. **42**. p. 469. 1903; **52**. p. 602. 1905; **54**. p. 257. 1906; Beibl. **29**. p. 921. 1905.

und einem unlöslichen. Das Mengenverhältnis dieser beiden Bestandteile im plastischen Schwefel ist abhängig von der Höhe und Dauer der Erhitzung des flüssigen Schwefels und von der Art der Abkühlung. Je höher und länger man den flüssigen Schwefel erhitzt, und je plötzlicher und stärker man ihn abkühlt, desto grösser wird der Gehalt des plastischen Schwefels an unlöslichem.

Nach der heutigen Auffassung ist der amorphe feste Zustand identisch mit dem flüssigen. Ein amorpher Körper wie der plastische Schwefel ist anzusehen als eine Flüssigkeit mit sehr grosser innerer Reibung. Ein bestimmter Schmelzpunkt lässt sich gar nicht beobachten, sondern der Übergang verläuft stetig bei allmählicher Änderung der inneren Reibung. Man kann selbstverständlich nie beobachten, dass sich ein amorpher Körper etwa wie ein Kristall im unterkühlten Schmelzflusse ausscheidet und weiter wächst, da ja hier feste und flüssige Phase identisch sind.[1]) Die kristalline Erstarrung ist ein mit unstetiger Energieänderung verlaufender Vorgang, wobei wahrscheinlich die Moleküle selbst durch Assoziation umgewandelt werden. Dabei bilden sich einzelne feste Ausscheidungen um Kristallisationskerne herum, die dann in der unterkühlten Schmelze weiter wachsen. Bei der amorphen Erstarrung dagegen wird die Flüssigkeit als Ganzes allmählich fest; eine regelmässige Molekülanordnung wie bei Kristallen kommt nicht zustande.

Durch die Lösungsversuche ist es erwiesen, dass der plastische Schwefel, und also auch der flüssige, kein chemisches Individuum ist. Es bildet sich mit steigender Temperatur im flüssigen Schwefel aus dem Schmelzflusse ($S\lambda$) unter Wärmeaufnahme eine chemisch isomere Modifikation $S\mu$ von anderm Molekulargewicht, wie man annimmt, durch Dissoziation. Diese Form $S\mu$ ist durch ihre Unlöslichkeit in CS_2, ihre braunrote Farbe

1) Vom unterkühlten Schmelzflusse ist die übersättigte Lösung zu unterscheiden; bei letzterer sind die Erscheinungen anders.

und grössere Viskosität charakterisiert und stellt eine energiereichere Form des Schwefels dar. Wir haben hier den Fall der Gleichgewichtsisomerie. Die beiden flüssigen Formen haben keinen Umwandlungspunkt im gewöhnlichen Sinne, sodass oberhalb desselben die eine Form, unterhalb die andre stabil wäre. Die in CS_2 unlösliche Form $S\mu$ tritt nicht etwa bei einer bestimmten Temperatur plötzlich auf; sie bildet sich vielmehr bereits gleich oberhalb des Schmelzpunktes in geringen Mengen und nimmt auf Kosten der Form $S\lambda$ mit steigender Temperatur zu. Für jede Temperatur stehen ganz bestimmte Mengen der beiden Modifikationen im Gleichgewicht.

Durch die bei 160° beobachteten Unstetigkeiten in der Wärmeaufnahme, Ausdehnung, Farbenänderung und Zähigkeitsänderung ist auf eine nur beschränkte Löslichkeit der beiden flüssigen Modifikationen in einander geschlossen worden. Es lassen sich thatsächlich durch Abkühlen hocherhitzten Schwefels zwei Phasen zeigen, die sich bei 160° unter Schichtbildung trennen. Smith, Holmes und Hall erklären diesen scheinbaren Umwandlungspunkt so: Unterhalb 160° ist die Form $S\lambda$ im Überschuss und enthält $S\mu$ gelöst. Bei 160° ist diese Lösung gesättigt; wegen der nur beschränkten Mischbarkeit scheidet sich $S\mu$ aus, und als neue Phase tritt eine Lösung von $S\lambda$ in der überschüssigen Form $S\mu$ auf.

Dem steht allerdings gegenüber, dass Hoffmann und Rothe Beobachtungen gemacht haben, die für eine (an sich schon wahrscheinlichere) unbegrenzte Löslichkeit der beiden flüssigen Formen in einander sprechen. Sie konnten nämlich bei genügend langsamem Temperaturgang aufwärts wie abwärts keine Unstetigkeiten bei dem scheinbaren Übergangspunkte nachweisen. Nach ihren theoretischen Überlegungen ist die bei schnellerem Temperaturgange beträchtliche Trägheit der Reaktion wahrscheinlich der Grund für die gewöhnlich beobachteten Unstetigkeiten.

Weitere Untersuchungen über diese Frage müssen noch entscheiden, ob die Auffassung von Hoffmann und Rothe durch-

führbar ist. Es wäre zu wünschen, dass einmal spezifische und latente Wärme zwischen Erstarrungspunkt und Siedepunkt einwandfrei gemessen würde.

Wie ich nachträglich erfahre, hat Herr J. Heinrichs in Bonn (Inaug.-Diss. 1906) die spez. Wärme des flüssigen Schwefels bis 320° aufwärts neu untersucht. Er findet (ebenso J. Dussy, Landolt-Börnstein-Meyerhoffer 1905 p. 386), dass die spez. Wärme des flüssigen Schwefels oberhalb 250° im Vergleich mit der des tiefer temperierten abnimmt. Das erklärt sich, wie ich direkt gefunden habe, dadurch, dass die spez. Wärme von $S\mu$ kleiner ist als die von $S\lambda$. Eine stärkere Änderung in der Wärmeaufnahme bei 160° macht sich in den Resultaten der Tabelle von Herrn Heinrichs (p. 43) kaum bemerkbar. Leider ist der Wert seiner Resultate dadurch herabgesetzt, dass (wie er selbst auf p. 45 und 53 bemerkt) infolge des jedesmaligen Abkühlens auf 0° im Eiskalorimeter Umwandlungswärmen mit zur Messung gekommen sein konnten. Auch hat sicherlich amorpher unlöslicher Schwefel in den Präparaten störend gewirkt, weil dessen spez. Wärme grösser ist als die des kristallisierten Schwefels. Dasselbe gilt wohl auch für die Bestimmungen der spez. Wärme des kristallisierten Schwefels. — Für roten Phosphor findet Herr Heinrichs eine auch von mir beobachtete auffallend geringe Temperaturabhängigkeit der spez. Wärme oberhalb 140°.

Auch weitere quantitative Versuche über die Löslichkeit des flüssigen Schwefels in demselben Temperaturbereiche würden aufklärend wirken. Dazu müsste ein noch über 160° flüssiges Lösungsmittel gewählt werden, das (wie CS_2) die beiden Bestandteile trennt, ohne dass man den flüssigen Schwefel erst abkühlen müsste. Smith, Holmes und Hall haben die Löslichkeit in Triphenylmethan und einigen andern, die beiden Formen nicht trennenden, Lösungsmitteln untersucht und gefunden, dass auch die Löslichkeitskurven beim Umwandlungspunkte unstetig werden.

Die Phasentrennung bei 160° kann man auch objektiv demonstrieren. Man erhitzt flüssigen Schwefel in einem Reagenz-

rohr über 160°, bis er die braunrote Farbe angenommen hat, und lässt ihn dann an der Luft erkalten. Da am unteren Teile des Rohres die Abkühlung infolge der grösseren Oberfläche stärker ist, geht hier die Umwandlung in die gelbe Form zuerst vor sich. Es bildet sich eine deutliche Trennungsfläche (wie ein Meniskus) zwischen den beiden Phasen aus, die langsam nach oben wandert, bis die ganze Masse in die gelbe Form umgewandelt ist. (Demonstration.) Die Erscheinung ist auch bei stark vergrössernder Projektion auf einen weissen Schirm gut zu sehen. Lässt man kurz, nachdem sich die Phasen getrennt haben, ein Stückchen Eisendraht in das Rohr fallen, so sinkt es zunächst in der zähen oberen Schicht sehr langsam, um sofort nach Erreichung der Trennungsfläche rasch herabzufallen. (Demonstration.)

Für die Molekulargewichte der beiden flüssigen Formen ist man noch nicht zu übereinstimmenden Resultaten gelangt. Es lässt sich die Raoult-van't Hoffsche Methode anwenden, indem man die Erniedrigung des Erstarrungspunktes von $S\lambda$ durch darin gelösten $S\mu$ bestimmt. Doch ist die Anwendung dieser Methode hier mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft, da sich während des Erkaltens bei der Gefrierpunktsbestimmung und besonders in der Zeit bis zum Extrahieren mit CS_2 die unlösliche Form $S\mu$ z. T. in löslichen Schwefel zurückverwandeln kann.

Diese (von Einigen bestrittene) Umwandlungsfähigkeit der unlöslichen amorphen Form ($S\mu$) in löslichen Schwefel ist durch Versuche bestätigt[1]). Ich fand, dass gealterter „unlöslicher Schwefel" nach 20 Tagen nur noch 89,8% wirklich unlöslichen Schwefel enthielt (durch Extraktion mit CS_2 isolierter $S\mu$), nach 2 Jahren nur noch 29,6%. Schaum[2]) hält dies auch theoretisch für ganz gut denkbar. Es bildet sich infolge der Gleichgewichtsisomerie bei längerem Aufbewahren zunächst ein Lösungsgleichgewicht zwischen der Form $S\mu$ und der gewöhnlichen Form heraus; denn der amorphe Schwefel ist immer noch als Flüssigkeit, wenn auch mit grosser

1) Vgl. auch W. Ostwald, Lehrb. d. allg. Ch. II. 2. p. 457.
2) K. Schaum, Ann. d. Ch. 308. p. 28. 1899.

innerer Reibung, aufzufassen. Wenn das Gebilde inbezug auf den kristallisierten Schwefel übersättigt ist, kann dieser sich ausscheiden und so der unlösliche amorphe Schwefel ($S\mu$) schliesslich ganz in die lösliche kristallisierte Form übergehen.

Damit beim Abkühlen des flüssigen Schwefels überhaupt unlöslicher Schwefel entsteht, ist (nach Versuchen von Smith und Holmes) die Anwesenheit von SO_2 und SO_3 notwendig. In jedem Schwefelpräparat bilden sich von selbst Spuren dieser Oxyde. Hat man sie durch Einleiten von NH_3 oder anderen Gasen entfernt, so enthält das abgeschreckte Präparat keinen unlöslichen Schwefel. Die beschriebenen Vorgänge beim Erhitzen des flüssigen Schwefels werden jedoch durch die Entfernung der Oxyde nicht beeinflusst.

Herr F. Richarz: Nach allen physikalischen Eigenschaften scheint es mir wahrscheinlich, dass die bei höherer Temperatur beständigere flüssige Modifikation $S\mu$ eine endotherme, mehr Atome in der Molekel enthaltende ist, im Vergleich mit der bei niederer Temperatur beständigeren $S\lambda$. Dafür spricht die grössere Dichtigkeit und grössere Viskosität, sowie die Unlöslichkeit von $S\mu$. Hat Herr College Schaum nicht noch auf andere Weise die Zal der Atome in der Molekel bei beiden Modifikationen zu bestimmen versucht?

Herr K. Schaum: Ich habe früher daran gedacht, auf Grund meiner Beobachtungen über die zeitlichen Frierpunktsänderungen des Schwefels das Molekulargewicht der gelösten amorphen Form zu bestimmen, und zwar durch Prüfung der Integralfunktionen, welche sich aus den Differentialgleichungen für die in Betracht kommenden Reaktionsformeln ergeben, habe jedoch rechnerischer Schwierigkeiten wegen davon abgesehen.

Aus welchem Grund übrigens meine Versuche, wie Smith und Holmes behaupten, nicht zu der Annahme ausreichen, dass der Frierpunkt proportional der Menge des gelösten Stoffes erniedrigt werde — was doch in verdünnten Lösungen fast immer der Fall ist — kann ich nicht recht einsehen. Eine endotherme Assoziation zu Molekeln mit mehr als 8 Atomen halte ich in Übereinstimmung mit Herrn Professor Richarz für sehr wohl möglich.

Die Auffassung des Herrn Vortragenden über die Natur der beiden amorphen Schwefelmodifikationen teile ich vollkommen. Es ist auffallend, dass die Interpretation des amorphen Zustandes als „Flüssig mit grosser innerer Reibung“ von zahlreichen Forschern auch heute noch abgelehnt wird. Ebenso ist es mir nicht verständlich, warum O. Lehmann den amorphen Körpern die Möglichkeit des Fortwachsens in übersättigter Lösung abspricht. Krystalle und Gasblasen wachsen in ihrer übersättigten Lösung; Krystalle und Flüssigkeitstropfen in ihrem übersättigten Dampf; aus welchem Grund sollen amorphe flüssige und feste Partikel die Wachsthumsfähigkeit aus Lösungen nicht besitzen? Dass ihnen diese tatsächlich zukommt, beweist u. a. deutlich das Grobkörnigwerden amorpher Niederschläge (z. B. Reifung des Bromsilbers); ein Zusammenfliessen kleinster Tröpfchen ist hier ausgeschlossen; auch eine Flockung ist oft völlig unmöglich (z. B. Reifung von Bromsilbergelatine in der Kälte).

Ferner teilte Herr M. Seddig mit:

Beobachtungen an seismischen Wellen und Schlussfolgerungen.

Ich möchte mir erlauben eine kurze vorläufige Mitteilung zu machen über eine eventuelle Methode seismische Wellen zu benutzen um einigen Aufschluss über die Beschaffenheit eines Bergmassivs, eines Untergrundes u. s. w. zu erhalten.

Angeregt zu dieser Idee wurde ich bereits vor 2 bis 3 Jahren durch eine Beobachtung, über die schon in der Naturw. Rund-

schau XIX, pag. 641; 1904 berichtet ist. Es handelt sich da um die gleichzeitige Beobachtung der akustischen und seismischen Wellen, die durch Sprengarbeiten an einem Bergabhange (bei Jenbach in Tirol) hervorgerufen wurden. Jedesmal war an dem einige Kilometer entfernten Beobachtungsorte nach jedem einzelnen Sprengschusse ganz deutlich zuerst das Ankommen der seismischen Welle zu konstatieren, welcher dann nach einigen Sekunden die akustische folgte. Aus angenäherter Bestimmung der Entfernung des Beobachtungsortes und aus der Differenz der betreffenden Zeiten für die seismische und akustische Welle berechnete sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bodenwellen zu etwas über 4000 m/sec, ein Wert, der auch mit anderen Angaben in der Litteratur ganz gut übereinstimmt.

Die Idee, solche seismische Wellen eventuell geognostisch zu verwerten, wurde noch besonders angeregt durch die gerade damals bekannt werdenden Schwierigkeiten, die sich beim Bau des Simplontunnels herausstellten. Denn während die Geologen mit aller Bestimmtheit eine vollkommen gleichförmige Struktur des Simplon-Massivs vorausgesagt hatten, war man beim Tunnelbau auf gewaltige Massen vollkommen morschen, losen und rissigen Gesteines getroffen, welches dem Fortschreiten der Arbeiten fast unüberwindliche Schwierigkeiten bot.

Wie ein zusammenfassender Bericht des Baseler Geologen M. C. Schmidt lehrt [Mitteilungen d. schweiz. naturf. Ges. 1905] zeigten auch sonst fast alle vermuteten geologischen Profile ganz erhebliche Abweichungen von dem wahren Profile, wie es sich bei den einzelnen Tunnelbohrungen ergab.

Wie wünschenswert es wäre, die Angaben der Geologischen Profile auf bequeme Weise nachprüfen zu können, ergiebt sich hiernach wohl von selbst. Seismische Wellen haben jedoch bisher noch nicht zu solchen Zwecken Verwendung gefunden, wie überhaupt die seismische Forschung erst in den letzten Jahren in exaktere Bahnen gelangte. Bei einer genaueren Durchsicht der betreffenden Litteratur stellte es sich auch heraus,

dass das bisherige Beobachtungsmaterial auch nicht entfernt hinreichend ist, um eine ohne weiteres ausführbare „geognostische“ Methode anzugeben.

Schon beim Vergleich der einzelnen Angaben für die verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten von Erdbebenwellen stellte sich zunächst die überraschende Schlussfolgerung heraus, dass diese Wellen in neuerer Zeit durchschnittlich mit immer grösserer Geschwindigkeit gelaufen wären; der Grund hierfür liegt natürlich einfach in der Vervollkommnung unserer instrumentellen Hilfsmittel, welche bereits die allerersten und schwächsten Anfänge der Erschütterungen registrieren.

Im Folgenden ein paar charakteristische Werte für verschiedene Materialien, welche ziemlichen Anspruch auf Genauigkeit haben:

Durchschnittliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit durch festes Urgestein 3500—4500 m.

Durchschnittliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit durch ausgedehnte Sandmassen 4—500 m.

Die Grenzen der Genauigkeit sind jedesmal recht weite; und zwar ist dies grösstenteils eine Folge davon, dass bei den Erdbebenwellen die Wellenlänge in grösseren Entfernungen immer grösser und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit immer kleiner wird. Der Grund hierfür ist in der Art des Zustandekommens der Erdbebenwellen zu suchen worauf einzugehen hier aber nicht der Ort ist.

[Genaues darüber z. B. in Günther, Geophysik, Stuttgart 1897, Bd. I, pag. 469 und 473. Hier sei nur noch soviel bemerkt, dass der Sitz der seismischen Kräfte in einem bestimmten Punkte unterhalb der Oberfläche zu suchen ist, von welchem Punkte aus dann die Erschütterungen nach allen Richtungen gleichmässig als Kugelwellen fortschreiten und zu den einzelnen Stellen der Erdoberfläche gelangen].

Eine exakte Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den einzelnen Gesteinsarten wurde erst in den letzten Jahren

versucht; und zwar vornehmlich in Japan durch Kusakabe [Publication of the Earthquake Investigation Commitee, Tokyo 1904], welcher die Elasticitätsmoduln einer grossen Reihe von Gesteinen möglichst genau bestimmte, um dann mit Hilfe der bekannten Formel $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$ [v Fortpflanzungsgeschwindigkeit, e Elasticitätsmodul, d Dichte] die Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu berechnen.

Seine Methode, den Elasticitätsmodul zu messen, war eine statische, und zwar war es, mit einigen Verbesserungen, die von Helmholtz angegebene und von A. König zuerst beschriebene Methode [1]). Seine so erhaltenen Werte stimmen jedoch nur recht unvollkommen mit den sonst direkt gemessenen überein. Ursache hierfür ist die Verwendung des statischen Elasticitätsmoduls statt des adiabatischen, der die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elastischer Wellen in festen und flüssigen Körpern in ganz analoger Weise beeinflusst, wie sonst in bekannterer Weise in Gasen. [Über diesen Punkt, über den die meisten Lehrbücher der Physik hinweggehen, vgl. Rühlmann, Mechan. Wärmetheorie, Bd. I, pag. 507; Braunschweig 1876]. Genau so wie die Schallgeschwindigkeit für extrem grosse Wellenlängen kleiner und kleiner wird und sich immer mehr dem von Newton statisch berechneten Werte von 260 m nähert, weil die Wärmetönungen infolge der langsamen Wechsel nicht streng adiabatisch verlaufen — genau so müssen auch die seismischen Wellen in ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit abhängig sein von ihrer Wellenlänge.

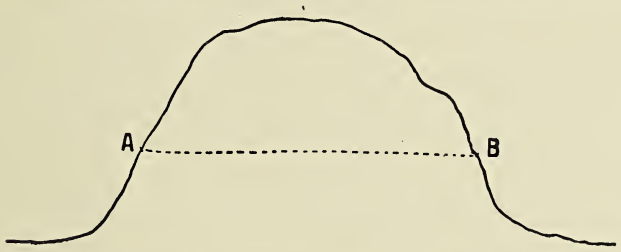
In einer ganz kürzlich erschienenen Arbeit von Kusakabe (Journal of the College of Science, Vol. XX, Article 9), Imperial University, Tokyo, ist zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in ca. 160 Gesteinen der adiabatische El.-Modul verwendet worden. Da die betr. Arbeit mir bisher leider nur

1) Vgl. hierzu: Th. Middel, Drudes Ann. d. Physik 2, pag. 119 oben, 1900. A. König, Verhandl. d. physik. Gesellsch. zu Berlin, 4, pag. IV und pag. 59, 1885. Wied. Ann. 28, pag. 108, 1886.

in einem sehr knappen Referate[1]) zugänglich war — kann hier keine weitere Angabe über Methode und benutzte Wellenlänge folgen, und müssen deshalb weitere Mitteilungen, ob die in obiger Arbeit gegebenen Werte für „geognostische“ Zwecke verwendbar sind, vorbehalten werden.

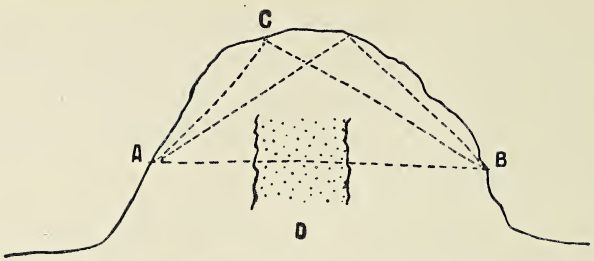
Nach den bisher gemachten Erfahrungen aber erweist es sich, dass die Elasticitätsverhältnisse für Gesteine vom selben Stock recht konstant bleiben und dass für die einzelnen Gesteinsarten vom selben Massiv gut messbare Elasticitätsverschiedenheiten bestehen. — Daher ist es wohl zu erwarten, dass durch Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit seismischer Wellen z. B. durch ein Bergmassiv hindurch und durch Vergleich des erhaltenen Wertes mit dem aus dem geologischen Profil und den einzelnen El.-Moduln berechneten, eine Prüfung der Schlüsse der Geologen möglich ist.

Prinzipiell wäre dabei einfach folgendermassen zu verfahren:



An einer passend gewählten Stelle *A* [vgl. Fig. 1] werden durch einen Sprengkörper Elasticitätswellen hervorgebracht, deren Geschwindigkeit in den einzelnen Gesteinen durch entsprechende Vorversuche festgestellt ist (besonders in Rücksicht auf die hierbei zur Verwendung kommende Wellenlänge). Am Orte *B* sind die Seisnometer aufgestellt. — Ist die geologische Voraussage richtig, so wird mit grosser Annäherung die berechnete und beobachtete Zeit des Fortschreitens der Welle von *A* nach *B* miteinander übereinstimmen.

1) Naturw. Rundschau XXI, pag. 648; 1906.



In dem Falle des Simplon-Massivs (vgl. schematisch Fig. 2) jedoch, wo ausgedehnte Massen von ganz losem, lockeren Gestein sich unvermutet bei *D* befanden, wäre die Geschwindigkeit des Fortschreitens beträchtlich verzögert worden und in der Gegend *D* vielleicht auf den zehnten Teil herabgedrückt worden [wenn wir annehmen, dass in diesen losen Massen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit etwa die gleiche Grössenordnung hat wie jene in Sandmassen]. Eine beträchtliche Abweichung zwischen berechneter und beobachteter Zeit hätte dann die Anwesenheit jener Massen in *D* mit grosser Sicherheit vermuten lassen.

Dass eine solche Methode erfolgreich ausführbar wäre, ist wohl nicht zweifelhaft; haben wir doch jetzt Seismometer von grösster Empfindlichkeit und Präcision zur Verfügung, welche die Richtung und die Intensitäten der ankommenden Wellen deutlich erkennen lassen und welche von solcher Empfindlichkeit sind, dass sie z. B. das regelmässige Anbranden der Wogen an ferner Küste, die durch das Geläute ziemlich entfernten Glocken hervorgerufenen Vibrationen, die durch Luftdruckschwankungen verursachten Niveauänderungen etc. sicher und deutlich registrieren.

Von *A* nach *B* gelangen nun freilich nicht nur Wellen in direkter Richtung, sondern z. B. auch auf dem Wege *ACB*, oder gar erst nach mehrmaliger Reflexion; aber alle die von solchen Wellen ankommenden Erschütterungen sind durch ihre andere Richtung etc. aus den Seismometer-Kurven als solche zu erkennen und zu eliminieren.

Eine Prüfung der hier vorgeschlagenen Methode wird zweckmässig und leicht an einigen der zahlreichen Bergmassivs vor-

genommen werden können, deren geologische Profile bei den Tunnelbohrungen bekannt wurden. —

Vielleicht ist es gut, dass man vor dem Bau des Simplontunnels nicht oben angedeutete Methode anwandte; möglicherweise hätten sonst die drohenden gewaltigen Schwierigkeiten die Ingenieure, oder, was noch bedenklicher wäre, die Finanzleute abgeschreckt und uns dies Hilfsmittel des Verkehres vorenthalten!

Sodann machte Herr M. Seddig noch folgende

Bemerkungen zu einem Referate.

In den Beiblättern zu den Annalen der Physik (Bd. 30, Nr. 16, pag. 829) war ein Referat über eine Arbeit von W. Holtz[1]) erschienen, aus dessen Fassung hervorgehen könnte, dass die elektrische Kraftliniendarstellung mittels dielektrischer Pulver bereits von W. Holtz (resp. Reitling u. Krauss) ausgebildet sei. Richtig ist, dass isolierende Pulver in nichtleitenden Flüssigkeiten, in denen sich mit der Influenzmaschine verbundene Pole befanden, bereits von W. Holtz angewandt wurden, wie dies auch in der Einleitung meiner Dissertation erwähnt ist. W. Holtz beschreibt dabei aber im Wesentlichen nur das Verhalten der einzelnen dielektrischen Pulver (ob sie sich mehr am + oder — Pol oder keinem derselben ansammeln, ob in Klumpen, strahlig usw.) ohne dass es ihm jedoch auf wirkliche Darstellung exakter elektrischer Kraftlinienfelder ankommt, im Gegensatz zum Thema meiner Dissertation. In dieser ist eine Reihe von Methoden angegeben, die es erlauben elektrische Felder durch die Kraftlinien in ähnlicher Gleichförmigkeit herzustellen, wie es bei den magnetischen schon längst bekannt und ohne besondere Mühe und Vorsichtsmassregeln möglich ist. —

Die betreffenden Holtz'schen Versuche sind in meiner Dissertation (Marburg 1902) auf S. 13[2]) in einem besonderen Absatze ausdrücklich angeführt.

1) Phys. Zschr. VII. pag. 258—259. 1906.

2) Siehe auch Drudes Annal. d. Physik IV, **11**, pag. 815–841, 1903; Physikalische Zeitschrift V. pag. 403—406, 1904.

Aufgelegte Schriften:

Amsterdam K. Akad. von Wetenschappen.
1, Jaarbock 1905. Jan. 1906.
2, Verhandelingen
1. Sect. IX Deel No. 2/3, Octbr. 1905 u. Juli 1906.
2, Sect. XII Deel No. 3/4. Jan. u. Juli 1906.
3, Verslag van de gewone Vergaderingen etc. XIV Deel 1/2. Dec. 1905 Mai 1906.
Bautzen Naturw. Ges. Isis Sitzungsberichte 1902/5. 1906.
Bergen Museum. Aarbog 1906 1/2. 1906.
An account of Crustacea V. 13/14. 1906.
Boston The American Naturalist 40. Bd. No. 475/6 u. 477/8. Juli u. Aug. 1906.
Braunschweig Verein für Naturw. 14. Jahresbericht für 1903/4 1904/5. 1906.
Braunschweig Techn. Hochschule Progr. 1906/7. 1906.
Brünn Klub f. Naturkde. 7. Bericht für 1905. 1906.
Chapel-Hill El. Mitchell scientific Society Journal XXII No. 2. 1906.
Danzig Naturf. Gesellschaft Schriften N. T. XI. 4°. 1906.
Dürkheim Pollichia Festschrift z. 70. Geburtstag von Georg v. Neumayer. 1906.
Dunedin Australasian Association etc. Report of the 10th meeting geb. 1906.
Freiburg i. B. Naturf. Gesellschaft. Ber. XVI. Bd. 1906.
Giessen 1, Verein f. Erdkunde (Darmstadt) Notizblatt, IV. Folge 26. Heft. 1905.
2, Oberh. Ges. f. Natur-Heilkunde Bericht N. F. Mediz. Abth. I. Bd. 1906.
Görlitz Naturf. Gesellschaft Abhandlnngen XXV. Bd. 1. Heft. 1906.
Halle a. S. Leop.-Carol. Akademie Leopoldina 42. Heft No. 6/8 9/10. 1906.
Harward University Proceedings of the Am. Academy etc. 41. Bd. No. 30/34. 1906.
Desgl. 42. Bd. No. 1. 1906.
Lima Cuerpo de Ingenieros de Minas Boletin No. 29, 35, 36. 1905/6,
Linz a. D. Museum Franc.-Carolinum 64. Jahresbericht. 1906.
Luxemburg Société G-D. de Botanique Recueil des ménoires No. XVI. 1902/3. 1905.
Milwaukee Wisconsin nat. hist. Society Bulletin IV. Bd. No. 3. Juli 1906.
Missouri Bureau of Geology III u. IV. Bd. 2nd Series geb.

Montana University Bulletin No. 32, 34, 35. 1906.
Nebraska University Bulletin No. 76/77, 79, 84. 1903/4.
New-York. Public library Bulletin X. Bd. 7/8 u. 9/10. 1906.
Presburg. Verein für Natur und Heilkunde Verhandlungen N. F. XVI/XVII (1904/5). 1905/6.
Regensburg. Naturw. Verein Berichte X (1903/4). 1905.
Rio de Janeiro. Museu nacional Archivos XII Bd. 4°. 1903.
Roma. Accad. dei Lincei
1, Atti 1906. Rendiconti II. Bd. 4°. 1906.
2, Atti 1906. Rendiconti XV. I. Sem. No. 12 und II. Sem. No. 1/3 4/8. 1906.
Sao Paulo. Sociedade scientifica Revista No. 3/4. 1906.
Tuft Mass. College Studies II. Bd. No. 2. 1906.
Washington. U. St. geological Survey
1, Professional Paper No. **45, 47, 49**, im 4°. 1906.
2, Water- Supply u. irrigation Paper No. **153. 157, 165/166, 168/169, 171.** 1906.
U. St. Department of agriculture
3, Yearbook 1905 geb. 1905.
Wien. Geolog. Reichsanstalt Verhandlungen 1906 No. 5/7 und 8/10. 1906.
Frankfurt a. O. Naturw. Verein Helios XXIII. Bd. 1906.
Zeitschrift für Naturwissenschaften 78. Bd. 3. Heft. Stuttgart 1906.
Suggestion II. Jahrg. No. 7. 1906.
Rehe, H. Über kindlichen Skorbut. S. A. 1906.
Batavia. Magnet und meteor. Observatory Observations 27. Bd. 1904. 4°. 1906.
Basel. Naturf. Gesellsch. Verhandl. XVIII. Bd. 3°. 1906.
Bestercze. Gewerbelehrlingschule 31. Jahresbericht. 1906.
Breslau. Schles. Gesellschaft für vaterl. Cultur 83. Jahresbericht (1905). 1906.
Brooklyn. Institute of arts Cold spring harbor monographs. VI. 1906.
Buenos-Aires. Ministerio de agricultura. Sec. geologica I. No. 3. 1906.
Canada. Geolog. Survey Annual report N. S. XIV. (1901). 1905.
Cassel. Verein für Naturkunde Abhandlungen und Bericht 50 f. 1906. 1906.

Graz. Naturwissenschaftl. Verein für Steiermark. Mittheilungen Jahrg. 1905. 1906.

Halle a. S. Verein f. Erdkunde Mitth. 30. Jahrg. 1906. 1906.

Lawrence Kansas. University of K. Science bulletin VI. 2 und VII. 3. 1905/1906.

Lima. Cuerpo de Ingenieros etc. Bol. No. 37/38 u. 39. 1906.
Secunda memoria del director. 1906.

Luxemburg. Institut grandducal de L. Sect. des sciences naturelles, Archives trimestrielles fasc. 1/2. 1906.

Manchester. Literary a. phil. society Memoirs a. proceedings 50. Bd. III. 1906.

München. Aerztl. Verein Sitzungsber. XV (1905). 1906.

Napoli. Accademia d. scienze fisiche etc. Rendiconte III. Ser. XII. Bd. 5/6 Heft 7/8. 1906.

Nürnberg. Naturhist. Gesellsch. Abhandl. XV. 3°. 1905.
Jahresbericht f. 1904. 1905.

Philadelphia. 1, Academy of nat. sciences Proceedings 58. Bd. I. 1906.
2, Amer. phil. Society Proceedings 45. Bd. No. 182. 1906.
3, Amer. Academy of arts u. sciences a, Proceedings 42. Bd. No. 2/9. 1906.
b, Proceedings 41. Bd. No. 35. 1906.

Rennes Université Travaux scientifiques IV. Bd. 1905. 1905.

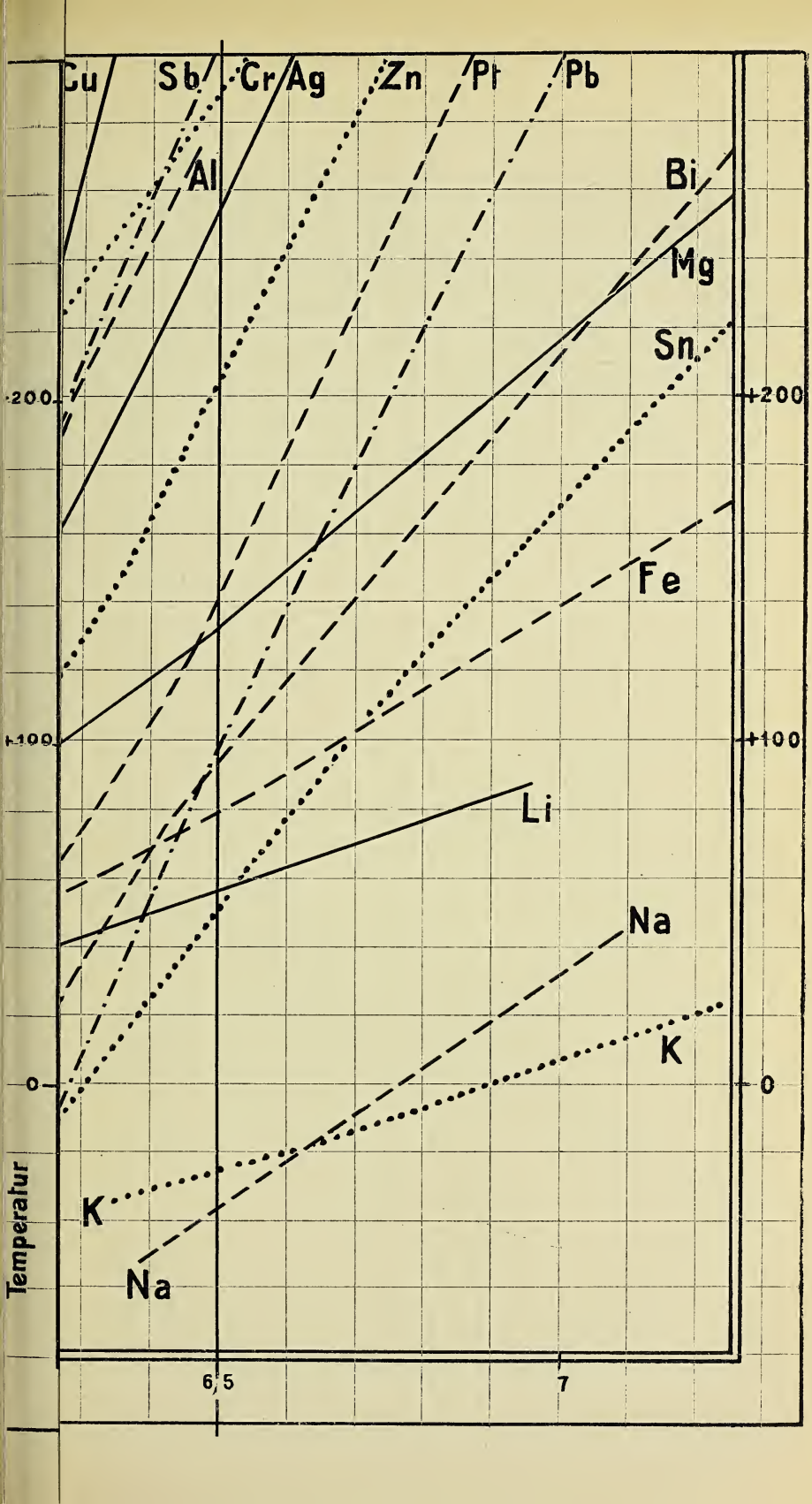
Stavanger Museum Aarshefte for 1905 (16. Jahrg.) 1906.

Stuttgart. Verein f. vaterl. Naturkunde Würtembergs Jahreshefte 62. Jahrg. 1906.

Upsala. Vetenskapsakademien in Stockholm.
Arkiv für Matematik III. 1°. 1906.
„ „ Botanik VI. 1/2. 1906.
„ „ Zoologi III. 2. 1906.
„ „ Kemi II. 3°. 1906.

Washington. Carnegie institution 5/6 Castle und Forbes Heredity etc. 1906.

Wien. Verein zur Verbreitung Naturw. Kenntnisse Schriften 46. Bd. (1905/6). 1906.


Cu
Sb
Cr
Ag
Zn
Pt
Pb
Al
Bi
Mg
Sn
Fe
Li
Na
K
K
Na
+200
+100
0
+200
+100
0
Temperatur
6,5
7

C Diamant.
C Graphit.
B krist.
B amorph.
Si krist.
Cu
Sb
Cr
Ag
Zn
Pt
Pb
Al
Bi
Mg
Sn
Fe
Li
Na
K
S rhomb
P gelb
S mon
Si amorph
S mon.
P
S rhomb.
Li
Cr
Fe
Mg
Cu
Al
Zn
Ag
Sb
Pt
Sn
Bi
Pb
Si krist.
K
Na
+200
+100
0
Temperatur
4
4,5
5
5,5
6
6,5
7
Atomwärme

Sitzungsberichte

der

Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften

zu

Marburg

BUREAU OF
AMERICAN ETHNOLOGY.
1908
LIBRARY.

Jahrgang 1907

Marburg
Universitäts-Buchdruckerei von Joh. Aug. Koch
1908