

6. Über das ultrarote Absorptionsspektrum der Kohlensäure in seiner Abhängigkeit vom Druck; von Clemens Schaefer.

Über die Absorption der Kohlensäure liegt bereits eine große Zahl von Experimentaluntersuchungen vor, die sich zum größeren Teile auf Gesamtstrahlung¹⁾, zum kleineren auf spektral zerlegtes Licht beziehen.

Was die letzteren angeht, so entdeckten Ångström²⁾ die beiden Absorptionsstreifen bei $2,7\ \mu$ und $4,4\ \mu$, Rubens und Aschkinass³⁾ denjenigen bei $14,7\ \mu$. Außerdem liegen noch die sorgfältigen Untersuchungen von F. Paschen⁴⁾ vor, auf die später noch zurückzukommen sein wird.

Von den Untersuchungen über die Gesamtaborption der strahlenden Wärme durch Kohlensäure sei besonders die Arbeit von Koch⁵⁾ hervorgehoben, in der auf Veranlassung von Ångström untersucht wurde, ob Vergrößerung der *Schichtdicke* bei *unverändertem Druck* und Vergrößerung des *Druckes* bei *unveränderter Schichtdicke* den gleichen Einfluß auf die Absorption haben. Falls diese Frage bejaht wird, bedeutet dies nichts anderes, als daß nur die Anzahl der vorhandenen Moleküle — ohne Rücksicht auf ihren in beiden Fällen verschiedenen physikalischen Zustand — für die Absorption maßgebend ist.

1) R. Franz, Pogg. Ann. **94**. p. 337. 1855; G. Magnus, Pogg. Ann. **112**. p. 514. 1861; John Tyndall, Contributions to molecular Physics . . . of Radiant Heat 1872; E. Lecher u. Pernter, Wied. Ann. **12**. p. 180. 1881; E. Lecher, Wied. Ann. **16**. p. 441. 1882; W. C. Röntgen, Wied. Ann. **23**. p. 259. 1884; J. E. Keeler, Amer. Journ. of Science **28**. p. 190. 1884; K. Ångström, Wied. Ann. **39**. p. 267. 1890; F. Kurlbaum, Wied. Ann. **61**. p. 417. 1897; Sv. Arrhenius, Ann. de Phys. **4**. p. 690. 1901; K. Ångström, Ann. d. Phys. **6**. p. 163. 1901.

2) K. Ångström, Öfversigt af k. Vetensk. Akad. Förh. **47**. p. 331. 1890; Phys. Revue **1**. p. 325. 1892.

3) H. Rubens u. E. Aschkinass, Wied. Ann. **64**. p. 584. 1898.

4) F. Paschen, Wied. Ann. **51**. p. 23. 1894; **52**. p. 221. 1894.

5) J. Koch, Öfversigt af K. Vetensk. Akad. Förh. **58**. p. 331. 1901.

Daß diese Anschauung für kleine Schichtdicken und geringe Drucke richtig ist, kann man wohl ohne weiteres zugeben; allein es ist sehr unwahrscheinlich, daß diese Gesetzmäßigkeit eine allgemeine Geltung haben sollte. Denn die Gase befinden sich in den beiden Fällen in ganz verschiedenen Umständen: dem *größeren* Druck entspricht ein *kleinerer* Abstand der Moleküle. Wenn man sich auf den elektromagnetischen Standpunkt stellt, so ist es als sicher anzunehmen, daß die gegenseitige Beeinflussung der als Resonatoren fungierenden Moleküle im letzteren Falle anders ausfällt als im ersten. Auch hat schon Ångström darauf aufmerksam gemacht, daß nach dieser Anschauung das Absorptionsspektrum für die Flüssigkeit mit dem des Dampfes übereinstimmen sollte. Nun haben zwar in der Tat die Spektren der Flüssigkeiten große Ähnlichkeiten mit denen ihrer Dämpfe — was gerade den Schluß nahelegt, daß es *dieselben* Teilchen hier wie dort sind, die die Absorption bewirken —, aber sie sind keineswegs identisch.¹⁾

Die ersten Versuche zur Entscheidung dieser Frage hat Ångström selbst in der genannten Abhandlung gemacht. Er benutzte zwei Röhren, die eine von 6 cm, die andere von 12 cm Länge, und beobachtete die Absorption durch das in beide Röhren eingeschlossene Gas, wenn in beiden Fällen die Gesamtzahl der Moleküle sich nicht änderte, d. h. wenn die kürzere Röhre Gas von doppeltem Druck enthielt, wie die längere Röhre. Indessen waren seine Resultate „negativ, oder mindestens unsicher“.

Später hat Koch in seiner schon zitierten Arbeit die Vermutung Ångströms, daß bei größerem Druck auch größere Absorption eintritt, durch Benutzung einer ähnlichen, aber verbesserten Anordnung wahrscheinlich gemacht.

Aus den angeführten Untersuchungen hat sich als wahrscheinlich also das Resultat ergeben, daß die Absorption nicht allein von der Anzahl der absorbierenden Moleküle, sondern auch von dem physikalischen Zustand derselben abhängig ist.

Woher dieser Unterschied kommt, darüber gibt die schon genannte Untersuchung Paschens²⁾ einen Fingerzeig. Er

1) K. Ångström, l. c.; F. Paschen, l. c.

2) F. Paschen, Wied. Ann. 51. p. 34. 1894.

findet, daß bei Vergrößerung der Schichtdicke die *Breite* des Absorptionsstreifens sich *nicht* ändert, und er bemerkt dazu, daß dieses Resultat nicht ohne weiteres für die *Gasdichte* gelte; in einer Note an derselben Stelle heißt es: „Die Kohlensäure der Zimmerluft steht unter einem Partialdruck von ca. $\frac{1}{1000}$ Atm. Es mag dies der Grund sein, weshalb die Breite des Absorptionsstreifens für *sie ein wenig schmaler* war“ (nämlich im Vergleich mit Kohlensäure, die unter dem Drucke von 1 Atm. stand).

In der vorliegenden Untersuchung habe ich versucht, die Verbreiterung der Streifen mit wachsendem Druck nachzuweisen; das positive Ergebnis derselben gestattet unter anderem eine Kritik der von Arrhenius zur Stütze seiner Theorie der Eiszeit angestellten Versuche; außerdem ist noch bei einigen anderen strittigen Punkten eine Entscheidung möglich gewesen.

Die allgemeine Versuchsanordnung war folgende: Von der Lichtquelle *L* (vgl. Fig. 1) werden die Strahlen durch den

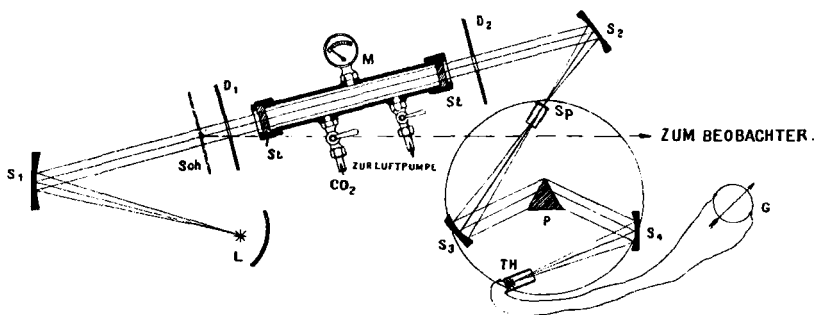


Fig. 1.

vorderseitig versilberten Hohlspiegel S_1 parallel gemacht und durchsetzen dann der Reihe nach das Diaphragma D_1 , das Absorptionsgefäß, von dem unten weiter die Rede sein wird, und das Diaphragma D_2 ; darauf fallen sie auf den Hohlspiegel S_2 , der auf den Spalt des Spektrometers ein reelles Bild der Lichtquelle entwirft. Das Spektrometer (von Schmidt & Haensch) war mit Spiegeleinrichtung (S_3 und S_4) versehen und wurde in der bekannten Weise justiert.

Die Beobachtung der strahlenden Energie geschah mit Hilfe einer Rubensschen Thermosäule. Durch eine Anzahl

rechteckiger Diaphragmen, deren schmalstes sich in unmittelbarer Nähe der Thermosäule befand und 0,6 mm breit war, wurden die 15 in einer geraden Linie angeordneten ungeradzahligen Lötstellen ausgeblendet. Die Temperaturempfindlichkeit¹⁾ der Thermosäule beträgt $860 \cdot 10^{-6}$ Volt pro Celsiusgrad; der gesamte Widerstand des Stromkreises (Thermosäule + Galvanometer) betrug ca. 15 Ohm, die Stromempfindlichkeit des Galvanometers angenähert $5 \cdot 10^{-10}$ Amp. Also entspricht einem Galvanometeraussschlag von 1 mm eine Temperaturerhöhung der bestrahlten Lötstellen von $1 \cdot 10^{-5}$ Celsiusgraden.

Leider war die Ruhelage des benutzten Galvanometers infolge von magnetischen und mechanischen Störungen nicht sehr günstig, so daß eine große Anzahl von Einzelbeobachtungen gemacht werden mußte; besonders für die Absorptionsmessungen, bei denen die Konstanz der Lichtquelle während einer Versuchsreihe die Voraussetzung bildet, war dies ein beträchtlicher Nachteil. Nach mehreren Vorversuchen benutzte ich schließlich eine Nernstlampe (kleineres Modell der A.E.G. für 110 Volt Spannung), die allen Anforderungen genügte.

Das Prisma war ein Steinsalzprisma von 60° brechendem Winkel. Bei Beginn einer jeden Versuchsreihe wurde die Thermosäule mittels des Okulars so eingestellt, daß die D -Linie in der Minimumstellung auf die Lötstelle fiel. Da nun die D -Linie in der Minimumstellung fixiert wurde, und das Prisma keine automatische Minimumeinstellung besaß, so berechnete sich der Austrittswinkel aus dem Prisma für Strahlen von der Wellenlänge λ_D (der zugleich der Einfallswinkel für sämtliche Strahlen ist) aus der bekannten Gleichung

$$i = \arcsin(n_D \sin \varphi/2),$$

worin unter φ der brechende Winkel des Prismas, unter n_D der Brechungsexponent der Natriumlinie und unter i der Einfallswinkel zu verstehen ist. Nun besteht zwischen letzterem, dem Austrittswinkel i' , dem brechenden Winkel φ und dem Brechungsexponenten n für eine beliebige Wellenlänge die Beziehung:

$$i' = \arcsin(\sin \varphi \sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \cos \varphi \sin i).$$

1) H. Rubens u. E. Aschkinass, Wied. Ann. 64. p. 590. 1898.

Nach dieser Formel war i' mit Hilfe der Dispersionsbestimmungen von H. Rubens und A. Trowbridge¹⁾ als Funktion der Wellenlänge berechnet und graphisch dargestellt worden. Als Abszissen dieser Kurve wurden die Wellenlängen, als Ordinaten die Größen $(i-i')$ aufgetragen, d. h. die Ablenkung von der in Minimumstellung befindlichen D -Linie an gerechnet; dies ist auch im folgenden immer unter Ablenkung verstanden.

Die Kohlensäure wurde in einem starken eisernen Rohr von 50 mm äußerem, 33 mm innerem Durchmesser eingeschlossen. Die innere Rohrwand war stark oxydiert, um die Reflexion von Wärmestrahlen möglichst auszuschließen. Auf die Enden des Rohres konnten starke Kappen aus Eisen aufgeschraubt werden, welche eine Bohrung von 32 mm Durchmesser besaßen. Durch die Kappen und zwischengelegte Lederringe wurden Messingringe, die in der Mitte Steinsalzplatten von 1 cm Dicke und 3 cm Durchmesser eingekittet hielten, gegen die gut geschliffenen Rohrenden gepreßt. Das Rohr wahr mit drei Hähnen versehen, von denen der eine zu einem Manometer (M), der zweite zu einer Kohlensäurebombe, und der dritte zu einer Luftpumpe führte.

Die Messungen wurden nach dem Vorgange Paschens in der Weise ausgeführt, daß Energiekurven aufgenommen wurden, und zwar einmal wenn das Absorptionsrohr mit Luft, das andere Mal mit Kohlensäure von bestimmtem Drucke gefüllt war; zur Kontrolle der Konstanz der Wärmequelle wurde dann noch eine dritte Beobachtungsreihe unter denselben Bedingungen wie die erste angestellt. Nun enthält aber die Luft gleichfalls Kohlensäure, die unter einem Partialdruck von $\frac{1}{1000}$ Atm. steht, und diese winzige Menge genügt bereits, um Absorptionen hervorzurufen, die sich als Diskontinuitäten in der primären Energiekurve zeigen. Da nun die Dispersion ziemlich gering und die Thermosäule ziemlich breit ist, so hat man es keineswegs mit homogenem Licht zu tun. In Verbindung mit der starken Absorption der in der atmosphärischen Luft vorhandenen CO_2 bewirkt nun dieser Umstand, daß man die Absorption der Kohlensäure nicht ohne weiteres aus dem Unterschied der beiden Energiekurven herleiten kann, wie

1) H. Rubens u. A. Trowbridge, Wied. Ann. 60. p. 724. 1897.

Paschen gezeigt hat.. Man müßte zu diesem Zwecke vielmehr eine Energiekurve als primäre zugrunde legen, bei der die absorbierenden Stoffe der Luft beseitigt sind. Wenn man nicht den ganzen Apparat ins Vakuum setzen kann oder will, so bleibt nichts anderes übrig, als die Diskontinuitäten, die durch die absorbierende Wirkung der CO_2 der Zimmerluft in der primären Energiekurve hervorgerufen werden, dadurch fortzuschaffen, daß man durch graphische Interpolation die Kurve kontinuierlich macht. Über die Berechtigung dieses Verfahrens vergleiche die Diskussion zwischen Paschen und Ångström.¹⁾

Die Einzelbeobachtungen, aus denen sich eine vollständige Beobachtungsreihe zusammensetzte, wurden im Spektralgebiet von $1-6\ \mu$ angestellt, und zwar wurde das Spektrometer von Winkelminute zu Winkelminute verstellt. Wegen der schon oben erwähnten schlechten Ruhelage des Galvanometers mußte bei jeder Spektrometereinstellung aus 7—10 Einzelbeobachtungen das Mittel genommen werden. Der Zutritt der Strahlung zur Thermosäule wurde durch Aufziehen eines Fallschirmes herbeigeführt.

Zur Prüfung der Justierung und ersten Orientierung im Spektrum habe ich zunächst die Emissionskurve des Auerbrenners aufgenommen, der in dem für die vorliegende Untersuchung in Betracht kommenden Spektralgebiete die Emissionsmaxima des Wasserdampfes bei $2,66\ \mu$ und der Kohlensäure bei $4,4\ \mu$ besitzt. Die betreffenden Maxima fanden sich an denselben Stellen des Spektrums, wie bei den Untersuchungen von Paschen, Rubens und Aschkinass.

Es zeigte sich nun bei den eigentlichen Messungen der Befund Paschens genau bestätigt. Als in dem Absorptionsrohr Zimmerluft, d. h. CO_2 von $\frac{1}{1000}$ Atm. Partialdruck enthalten war, zeigte sich bei $2,7\ \mu$ eine Absorption von im Mittel 22 Proz. und bei $4,4\ \mu$ von 37,5 Proz.; natürlich war diese Absorption durch die im *ganzen* Strahlengange befindliche Kohlensäure hervorgerufen. Wurde dann das Rohr mit Kohlensäure von 1 Atm. Druck gefüllt, so stieg die Absorption auf 28,8 Proz.

1) F. Paschen, Wied. Ann. 51. p. 9. 1894; 53. p. 287. 1894; K. Ångström, Wied. Ann. 52. p. 503. 1894.

bez. auf 62,7 Proz. Wenn nun die Schichtdicke von 50 cm auf 200 cm erhöht wurde, was in einigen Versuchen geschah, so war keine Änderung der Absorption mit Sicherheit nachweisbar, so daß der Schluß berechtigt ist, daß eine 50 cm dicke Schicht Kohlensäure die Absorption sozusagen vollständig bewirkt hat; wahrscheinlich ist eine noch geringere Schicht dazu ausreichend. Auch zeigt sich hier die oben erwähnte Beobachtung Paschens über die Streifenbreite bestätigt: bei $\frac{1}{1000}$ Atm. betrug die scheinbare Breite 9' (von $1^{\circ} 40'$ bis $1^{\circ} 49'$ von der Minimumstellung an gerechnet) bez. 16' (von $1^{\circ} 59'$ bis $2^{\circ} 15'$); dagegen fand ich bei 1 Atm. eine Breite von 14' (von $1^{\circ} 38'$ bis $1^{\circ} 52'$) bez. von 21' (von $1^{\circ} 57'$ bis $2^{\circ} 18'$). Dieses Resultat ermutigte dazu, die Versuche bei höherem Druck fortzusetzen.

Ich habe demgemäß in derselben Weise Beobachtungen angestellt, wenn das Rohr mit Kohlensäure von 1, 2, 3 und 4 Atm. gefüllt war. Die größte Schwierigkeit bei diesen Messungen bestand darin, das Rohr gasdicht zu bekommen. Nachdem Leder- und Gummidichtungen völlig versagt hatten, bewährte sich sogenanntes „Klingerit“ sehr gut.

Bei den Messungen ergab sich nun folgendes Resultat:

Bei jeder Druckzunahme fand eine *Verbreiterung* der beiden Streifen statt, die schließlich sogar ineinander übergingen. Gleichzeitig ging die Maximalabsorption in beiden Fällen beträchtlich in die Höhe. *Durch bloße Vergrößerung der Schichtdicke bis zu einer Länge von 200 cm¹⁾ war weder das eine noch das andere Resultat zu erzielen*, vielmehr blieb sowohl die Maximalabsorption bei demselben Wert stehen, den sie bei 50 cm Schichtdicke besaß, als auch blieb die Streifenbreite die nämliche.

Um die Messungen an einem Beispiele zu zeigen, gebe ich meine Beobachtungen für den Absorptionsstreifen von $2,7 \mu$ in Fig. 2 wieder. Da die verschiedenen Messungsreihen zum Teil mit verschiedener Empfindlichkeit angestellt worden sind, so habe ich sie sämtlich auf die *nämliche* primäre Energiekurve

1) Zu diesen Versuchen benutzte ich ein Messingrohr von der angegebenen Länge, das zur Vermeidung von Reflexionen geschwärzt und mit neun in Abständen von 20 cm befindlichen Diaphragmen versehen war. Die Enden waren durch Glimmerplatten verschlossen.

umgerechnet; der gestrichelte Teil der primären Energiekurve ist durch graphische Interpolation gewonnen, wie oben dargelegt. Aus den der Fig. 2 zugrunde liegenden Zahlen ist die folgende

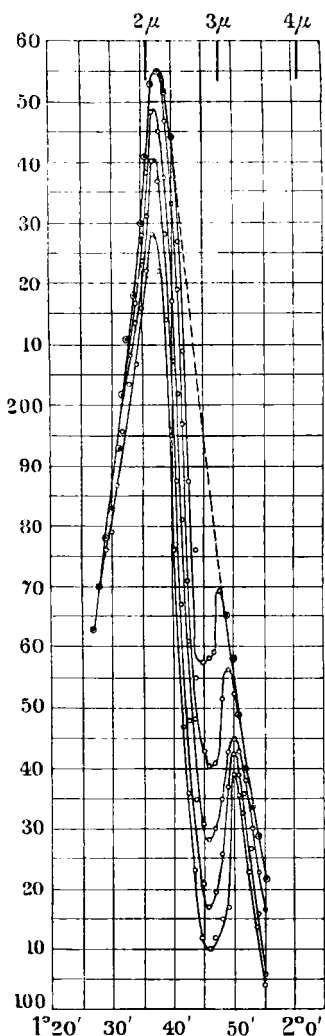


Fig. 2.

Tabelle (vgl. p. 102) berechnet; die Zahlen bedeuten die Absorption der CO_2 in Prozenten der auffallenden Strahlungsintensität; der Kürze halber bedeutet $(\text{CO}_2)_n$ die Absorption der CO_2 bei n Atm. Druck. Diese Zahlen bedeuten keineswegs die wirklichen Absorptionswerte, weil die Lötstellen der Thermosäule eine endliche Breite besitzen; sie sind daher nur für die benutzte Anordnung maßgebend, und würden sich bei einem anderen Apparate anders ergeben. Indessen beeinträchtigt dieser Umstand nicht die Ziele der vorliegenden Untersuchung.

Wenn ich diese Zahlen dennoch in extenso wiedergebe, so geschieht es aus dem Grunde, weil es die ersten Absorptionsmessungen bei CO_2 von höherem Drucke sind. Fig. 3 stellt diese Tabelle dar. Eine am oberen Rande angebrachte Teilung gibt die zu den Ablenkungen ($i - i'$) gehörigen Wellenlängen in μ an. Was nun die Kurven der Fig. 3 lehren, ist folgendes:

1. Man sieht deutlich, daß mit höherem Druck eine Verbreiterung der Streifen und eine Vergrößerung der Maximalabsorption eintritt. Andererseits zeigen die

Beobachtungen Paschens, sowie meine eigenen, daß beides bei Vergrößerung der Schichtdicke nicht der Fall ist. Daraus ergibt

sich nun das Resultat, daß es bei der Absorption eines Gases nicht allein auf die Anzahl der absorbierenden Moleküle, sondern auch auf ihre Dichte pro Volumeneinheit ankommt. Dies ist in bestem Einklange mit sämtlichen bisherigen Kenntnissen über die Absorption im sichtbaren Gebiet. Nachdem die vor-

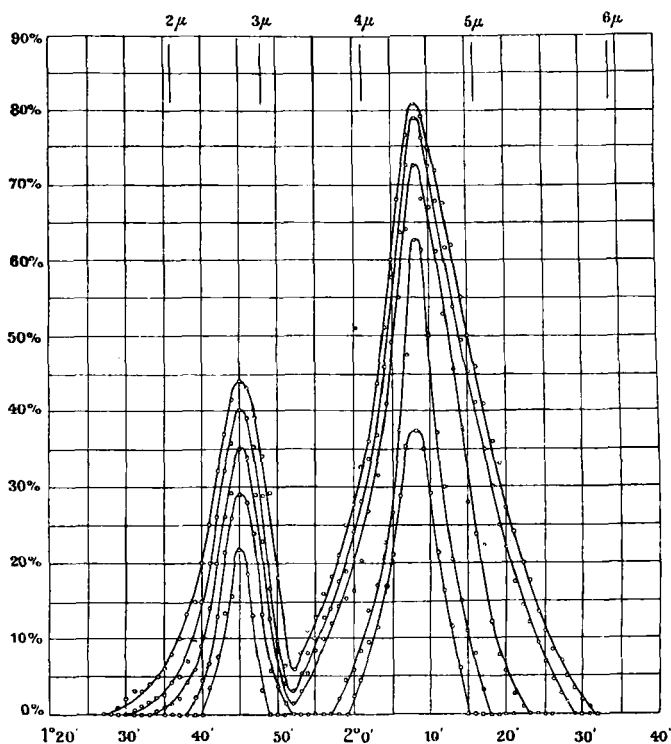


Fig. 3.

liegende Arbeit bereits im wesentlichen abgeschlossen war, hat Planck¹⁾ aus seiner Theorie der Dispersion und Absorption dieselbe Folgerung gezogen. Seine Untersuchungen führen ihn zu dem Resultat, daß bis zu einer gewissen sehr kleinen Dichte Vergrößerung der Schichtdicke und des Druckes einander äquivalent sind, sobald aber die Dichte weiter steigt,

1) M. Planck, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1903. I. p. 480 ff.

$i - i'$	$(\text{CO}_2)_0$	$(\text{CO}_2)_I$	$(\text{CO}_2)_{II}$	$(\text{CO}_2)_{III}$	$(\text{CO}_2)_{IV}$
1° 27'					
28					0
29					1
30					2
31				0	3
32				1	3
33			0	1,5	4
34			0,5	2	5
35			0,8	2,5	6
36			1,2	4	8
37			2	5	10
38		0	4	7	13
39		2	6	9,5	15
40	0	4,5	9	15	20
41	3,8	6,8	14	20	25
42	7,5	12,8	20	26	32
43	13,6	21,2	26	32	37
44	15,8	25,8	29	35,5	41,5
45	22	28,8	35	40	44
erstes Maximum bei 2,7 μ .					
46	18,3	27,8	33,6	39	43
47	13,3	23,5	29	35,2	39
48	3,2	13,1	22,8	28,5	34
49	0	5,7	13,3	16,6	29
50		3,5	8,2	9,8	18
51		1,4	4	6,5	11
52		0	1,3	3	6
53			3	5,4	8
54			5,4	8	11
55			8,5	10	12,5
56			10	13	16
57		0	12	14	18
58		2	14,5	17,4	21
59	0	4,7	15,8	18,8	25

$i - i'$	(CO ₂) ₀	(CO ₂) _I	(CO ₂) _{II}	(CO ₂) _{III}	(CO ₂) _{IV}
2° 0'	2,5	5,8	16,1	24,2	27,5
1	4,5	8,2	20,2	28	32,5
2	9,5	13,5	26,5	33,3	36
3	11,6	17	31,4	36,8	43,5
4	17	22,6	41	45,8	51
5	21,3	26,3	49	57,5	60
6	28,8	37,5	55	63,6	68
7	35,5	47,5	64	72,5	76,5
8	37,5	62,7	72,5	78,8	81
zweites Maximum bei 4,4 μ .					
9	35	61,2	68	76,2	79
10	29	50	67	72,5	75
11	21,5	37	61	67,8	72
12	16,5	30	52,7	61,8	67,5
13	11,8	20,5	45,5	53,5	62
14	6,1	15	37,8	49,5	55
15	0	11	27,8	45,4	50
16		8	23,8	41,2	46
17		3	22,2	35	41
18		0	12	30	36
19			7,8	25	33
20			5,7	22	27
21			2,5	17,5	24
22			1	14,5	20
23			0	12	17,5
24				9,5	13,2
25				7	11
26				4,8	8,5
27				2,5	7
28				1,5	5
29				0	3,3
30					1,9
31					1
32					0

tritt Verbreiterung des Absorptionsstreifens nach beiden Seiten hin ein, und zwar eine größere nach Seite der längeren Wellen. Daß diese Asymmetrie der Verbreiterung in meinen Kurven nicht zutage tritt, liegt an einem Umstande, den ich unten weiter besprechen werde.

2. Arrhenius hat die Gesamtabsorption der CO_2 bei verschiedenen Drucken bestimmt; er ging bis zu 7 Atm. bei 50 cm Schichtdicke. Seine Resultate zeigen eine mit der Kohlensäuremenge, d. h. *bei seinen Versuchen mit dem Druck kontinuierlich steigende Absorption*. Dies Ergebnis steht mit dem obigen qualitativ — eine quantitative Vergleichung ist durch die Verschiedenheit der Versuchsanordnungen ausgeschlossen — im Einklange. Arrhenius hat jedoch aus seinen Zahlen den Schluß gezogen, daß eine Abnahme des Kohlensäuregehaltes der Erdatmosphäre eine starke Temperatursenkung der Erde zur Folge haben müßte, da infolge der nach seinen Zahlen verminderten Absorption eine stärkere Ausstrahlung der Erde in den Weltraum stattfindet. Er erblickt in diesem Umstande eine mögliche Ursache der Eiszeit. Indessen ist nach dem Obigen dieser Schluß nicht erlaubt, da die Kohlensäure der Erdatmosphäre sich ja unter dem geringen Druck von $\frac{1}{1000}$ bis $\frac{1}{3000}$ Atm. befindet. Es liegt also dem Schlusse Arrhenius' die durch die vorliegenden Versuche als falsch erwiesene Annahme zugrunde, daß Variation der Schichtdicke und des Druckes den gleichen Einfluß auf die Absorption haben. Damit fällt dieser Erklärungsversuch der Eiszeit zusammen, denn Änderungen des CO_2 -Gehaltes haben überhaupt keinen Einfluß auf die Erdtemperatur, solange die Abnahme der Kohlensäure *unter 80 Proz. der bisherigen Menge bleibt.*¹⁾ — Die Versuche Arrhenius' bilden also zwar eine schätzenswerte Ergänzung des Beobachtungsmateriales, beweisen aber für die vorliegende Frage nichts.

3. Ångström²⁾ hat kürzlich — nachdem er früher die entgegengesetzte Ansicht vertreten hat — seinen Standpunkt dahin präzisiert, daß die Absorptionsstreifen der Kohlensäure ein kontinuierliches Band bilden, und nicht, wie es die Beob-

1) Ich gedenke dies an anderer Stelle ausführlich zu begründen.

2) K. Ångström, Öfversigt af K. Vetensk. Akad. Förh. p. 387. 1901.

achtungen Langleys zu fordern scheinen, aus einer großen Anzahl feiner Linien bestehen. Falls diese feinen Linien tatsächlich existieren, so kann man mit gewöhnlichen Mitteln dieselben nicht finden, da der Bolometerstreifen zu breit ist; man mißt überall nur Mittelwerte der Absorption. Nun spricht allerdings der Umstand, daß man bei Vergrößerung der Schichtdicke niemals die Absorption 100 Proz. erhält, auf den ersten Anschein direkt zugunsten der Annahme der feinen Linien. Indessen wäre ein solcher Schluß, wie Paschen gezeigt hat, nicht bündig; denn da nur einmalige spektrale Zerlegung angewendet ist, hat man außer der Wellenlänge, die man messen will, immer noch „falsches“ Licht auf dem Bolometerstreifen, das durch diffuse Reflexion etc. an den Wänden des Prismas entstanden ist. Dieses „falsche Licht“ könnte unter Umständen ganz wohl einen Betrag von 50 Proz. erreichen. Ein strikter Beweis für die Existenz der feinen Linien wird dagegen geliefert durch die Beobachtungen unter höherem Druck; denn in diesem Fall *verbreitern* sich die Streifen und die Maximalabsorptionen steigen. Das ist durch „falsches Licht“ nicht mehr erklärbar, denn durch eine Steigerung des Druckes könnte dies nicht weggeschafft werden. Umgekehrt erklären sich beide Tatsachen durch das *Breiterwerden* der feinen Linien.

Dies ist auch der Grund, weshalb die von der Planckschen Theorie geforderte Asymmetrie der Verbreiterung nicht in die Erscheinung tritt; das Bolometer zeigt eben *direkt* die feinen Linien überhaupt nicht an.

Breslau, den 12. November 1904.

(Eingegangen 20. November 1904.)
