

*7. Ueber die Bedeutung
des Wasserdampfes und der Kohlensäure bei
der Absorption der Erdatmosphäre;
von Knut Ångström.*

1. Die Bedeutung des Wasserdampfes für die Absorption der Sonnen- und der Erdstrahlung ist schon durch die Arbeiten von Tyndall wohl bekannt. Dagegen sind die Ansichten über die Grösse und die Intensität dieser Absorption noch widersprechend. Auch betreffs der Kohlensäure sind die Meinungen in dieser Hinsicht sehr verschieden. Im Folgenden beabsichtige ich einige Beiträge zur Aufklärung dieser Frage zu geben.

2. Was die Kohlensäure betrifft, so wurde die Bedeutung dieses Gases für die atmosphärische Absorption zuerst von Lecher und Pernter, von Keeler und vom Verfasser hervorgehoben. Zuzufolge seiner Untersuchungen auf dem Altenberg¹⁾ behauptete Lecher, dass die Sonnenstrahlung in günstigen Fällen noch beträchtliche Energiemengen, die in das Absorptionsgebiet der Kohlensäure fallen, enthalten kann. Die Bedeutung dieser Beobachtung ist zweifach: erstens, dass die Sonnenstrahlung, die unsere Erdatmosphäre erreicht, wirklich Strahlen von den bezüglichen Wellenlängen enthält, zweitens, dass ein beträchtlicher Teil dieser Strahlung in unserer Atmosphäre zurückgehalten wird. Verfasser hat dies schon früher gezeigt²⁾, und wenn auch bei dieser Gelegenheit infolge mangelnder Kenntnis der wahrscheinlichen Verteilung der Energie in dem ultraroten Sonnenspectrum ausserhalb der Atmosphäre die Grösse dieser von der Kohlensäure zurückgehaltenen Strahlung von mir sehr überschätzt wurde, steht es doch immer fest, dass die Kohlensäureabsorption eine ganz beträchtliche sein muss, vorausgesetzt, dass die Sonnenstrahlung

1) E. Lecher, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien (2) 82. p. 851. 1881; Wied. Ann. 12. p. 467. 1881.

2) K. Ångström, Bihang till K. S. Vet. Akad. Handlingar 15. Afd. 1. Nr. 9 u. 10; Wied. Ann. 39. p. 267 u. 294. 1890.

ausserhalb der Atmosphäre die Kohlensäurestrahlung wirklich enthält.¹⁾

In der letzten Zeit wurde jedoch von verschiedenen Seiten Zweifel an der Richtigkeit der Lecher'schen Beobachtungen erhoben.²⁾ Demzufolge beschloss ich, die Versuche von Lecher zu erneuern, und eine vorzügliche Gelegenheit dazu bot sich während einer Reise nach Teneriffa 1896 zwecks Studiums der Sonnenstrahlung auf verschiedenen Höhen über dem Meere.³⁾

Der von mir benutzte Apparat ist aus der Fig. 1 ersichtlich. Zwei Glasröhren von ca. 40 cm Länge waren nebeneinander in einer Holzröhre befestigt. Diese war an einem



Fig. 1.

Stativ angebracht und konnte durch zwei Mikrometerschrauben genau in der Richtung der Sonnenstrahlung eingestellt werden. Die Glasröhren waren durch schöne Platten von Flusspat luftdicht geschlossen, die eine war mit reiner Luft, die andere mit Kohlensäure gefüllt. Das eine Ende der Holzröhre war durch zwei bewegliche Schirme *S* mit doppelten Wänden geschlossen, in dem anderen Ende war ein Thermoelementenpaar *T* so befestigt, dass die Lötstellen sich in der Verlängerung der Glasröhrenaxe befanden. Besondere Sorgfalt war auf die Lötstellen des Thermoelementes verwendet, um dieselben einander so ähnlich wie möglich herzustellen.

1) In der angeführten Arbeit kam ich auf Grund der Untersuchung von Lecher und der hier erwähnten Ueberschätzung der ausseratmosphärischen Sonnenenergie in dem Spectralbezirk um 4μ herum zu dem Schlusse, dass die Solarconstante wahrscheinlich den Wert $4\text{ g/Cal. pro Minute und cm}^2$ erreicht. Nach dem, was ich im Folgenden anführen will, kann ich diese Meinung nicht weiter aufrecht erhalten.

2) So z. B. G. B. Rizzo, Mem. della Soc. Spettroscopisti Italiani 26. p. 25. 1897.

3) Ein vollständiger Bericht über diese Untersuchung ist in Acta Reg. Soc. Ups. 1900 veröffentlicht.

Das Thermoelementenpaar war an einer Axe befestigt in der Weise, dass man durch Drehung derselben die Stellung der Lötstellen vor der Rohraxe wechseln konnte.

Zuerst wurde der Apparat geprüft, indem die beiden Röhren mit reiner Luft gefüllt wurden. Wenn die Thermoelemente sich in Verbindung mit einem Galvanometer von mässiger Empfindlichkeit befanden und nur die eine Lötstelle beleuchtet wurde, ergab sich eine Ablenkung von ca. 400 Scalenteilen. Wenn dagegen die beiden Lötstellen gleichzeitig beleuchtet wurden, betrug die Ablenkung nur 1—3 Scalenteile von wechselnder Richtung. Die Symmetrie des Apparates war also genügend gross.

Mit diesem Apparate wurden mehrere Versuche angestellt am 23., 24. und am 27. Juni 1896. Das Beobachtunglocal war die Schutzhütte bei Alta Vista auf dem Pico de Teyde in einer Höhe von 3252 m über dem Meere. Die Feuchtigkeit war ca. 2,5 mm, die Temperatur ca. 10° , die Sonnenstrahlung im Mittel 1,60 g/Cal. pro Minute und cm^2 . Die Versuche ergaben aber kein positives Resultat. Nie wurde eine grössere Absorption durch die Kohlensäureröhre beobachtet. In Anbetracht der Genauigkeit dieser Versuche kann ich mit Bestimmtheit sagen, dass unter diesen Umständen nicht 1,5 Proc. von der Strahlung in der Kohlensäureröhre absorbiert wurde. Dieses Resultat stimmt aber offenbar nicht mit den Versuchen von Lecher, bei welchen eine Absorption von 13 Proc. durch eine Röhre von 105 cm Länge beobachtet wurde. Da bei meinen Beobachtungen sowohl die Sonnenhöhe wie auch die Höhe über dem Meere bedeutend grösser war, hätte man nach den Lecher'schen Bestimmungen eine Absorption von bedeutend mehr als 6 Proc. erwarten können. Nach dieser Untersuchung scheint es also hervorzugehen, dass das Absorptionsvermögen der Kohlensäure in dem Bande *Y* so kräftig ist, dass die bezügliche Absorption schon vollendet ist, bevor die Strahlung zu uns anlangt, und was das schwächere Band *X* betrifft, so ist die Wirkung desselben infolge überlagernder Absorptionsstreifen des Wasserdampfes nicht merkbar.

Wie gross die Kohlensäureabsorption in den höheren Teilen der Erdatmosphäre ist, lässt sich noch nicht beurteilen.

3. Viel leichter ist es, den Einfluss der Kohlensäure bei

der Absorption der Erdstrahlung zu beurteilen. Ausser den zwei schon erwähnten, von mir zuerst nachgewiesenen Bändern X und $Y^1)$ enthält nämlich das Kohlensäurespectrum, wie die Herren Rubens und Aschkinass gezeigt haben²⁾, ein sehr kräftiges Band von den Wellenlängen 14,0—15,5 μ . Dieses ist für die Erdstrahlung von grösster Bedeutung. Wir kennen nämlich durch die Arbeiten von Langley, besonders aber durch diejenigen von Paschen, Lummer und Pringsheim ziemlich genau die Energieverteilung in dem Spectrum eines festen Körpers. Eine Schätzung der Absorption, die von einer hinreichenden langen Kohlensäureschicht ausgeübt wird, lässt sich deswegen leicht graphisch ausführen. Ich habe diese Berechnung für einige verschiedene Temperaturen ausgeführt, indem ich teils die Breite der Absorptionsstreifen so gross wie möglich, teils so klein wie möglich angenommen habe. Die Energiecurven sind mit Hülfe der Gleichung

$$E = C\lambda^{-5} e^{-\frac{c}{\lambda T}}$$

berechnet, indem nach den Bestimmungen von Lummer und Pringsheim für die Strahlung eines schwarzen Körpers die Constante $c = 14700$ angenommen wurde.³⁾ In Fig. 2 sind diese Energiecurven für $t = 100^\circ$, $t = 8^\circ$ und $t = -72^\circ$ nebst den Absorptionsbändern der Kohlensäure gezeichnet. Für Strahlung der Wärmequellen von sehr niedrigen Temperaturen wird natürlich die Absorption am grössten, wenn das Energie-maximum in dem Spectrum der Wärmequelle mit dem erwähnten Absorptionsbande zusammenfällt. Dies geschieht bei einer absoluten Temperatur der Wärmequelle von ca. 196° , wo die Absorption 10—16 Proc. beträgt. Für eine Wärmequelle von 100° wird die Absorption 12,5—19 Proc. betragen, ein wenig mehr als die ersterwähnte, da hier auch das Absorptionsband $\lambda = 4,18 \mu$ zur Wirkung kommt.

Weil verschiedene Teile dieser breiten Absorptionsbänder zweifellos nicht von derselben Intensität sind, und weil wir das

1) K. Ångström, Öfversigt af K. Vet. Akad. förhandl. p. 549. 1889; Physikalische Revue 1. p. 606. 1892.

2) H. Rubens und E. Aschkinass, Wied. Ann. 64. p. 584. 1898.

3) O. Lummer und E. Pringsheim, Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch. 1. p. 221. 1899.

Spectrum bei den spectrobolometrischen Untersuchungen nicht als vollständig rein voraussetzen können, lässt sich die von einer Kohlensäureschicht von beliebiger Dicke ausgeübte Absorption nicht scharf ermitteln. Um die Abhängigkeit der Absorption von der Schichtendicke zu bestimmen, sind deswegen directe Versuche mit Wärmequellen von verschiedenen Temperaturen wünschenswert, und ist Hr. J. Koch im hiesigen physikalischen Institut mit derartigen Versuchen beschäftigt. Von den Resultaten dieser Untersuchung, über die Hr. Koch selbst Bericht erstatten wird, soll nur hervorgehoben werden,

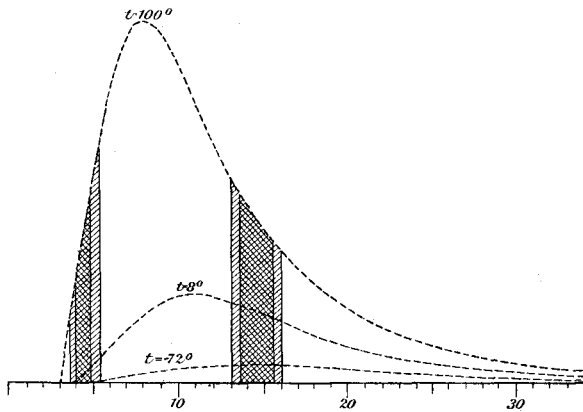


Fig. 2.

dass von der Strahlung eines schwarzen Körpers von 100° ca. 10 Proc. von einer Kohlensäureschicht von 30 cm Länge bei 780 mm Druck absorbirt wird, und dass, wenn der Druck auf $\frac{2}{3}$ reducirt wird, die Absorption sich nur unbedeutend — höchstens mit 0,4 Proc. der Gesamtstrahlung — ändert. Eine Schicht von 30 cm Länge hat also die Absorption der Strahlung einer Wärmequelle von 100° beinahe vollständig bewirkt. Aus diesen Untersuchungen und Berechnungen geht klar hervor: erstens, dass höchstens ca. 16 Proc. von der Erdstrahlung durch die atmosphärische Kohlensäure absorbirt werden, und zweitens, dass die Gesamtabsorption sehr wenig von den Veränderungen in dem atmosphärischen Kohlensäuregehalt abhängig ist, solange nämlich dieser nicht kleiner als 0,2 des jetzt vorhandenen ist.

4. Um die Absorption der Sonnenstrahlung durch den atmosphärischen Wasserdampf zu berechnen, habe ich die von mir während des Sommers 1896 ausgeführten Beobachtungen auf Teneriffa über die Sonnenstrahlung in verschiedenen Höhen über dem Meere benutzt.¹⁾ Folgende kleine Tabelle enthält die Hauptresultate dieser Beobachtungen, wobei die Sonnenstrahlung in g/Cal. pro Minute und cm² und die atmosphärische Schichtendicke in verticaler Richtung bei 760 mm Druck als Einheit genommen ist.

Tabelle 1.

Beobachtungslokale	Guimar	Cañada	Pico de Teide
Höhe über dem Meere	360 m	2125 m	3683 m
Barometerdruck	734 mm	597 mm	493 mm
Wasserschicht	2,6 cm	1,2 cm	0,7 cm
Schichtendicke 1	1,39	1,51	1,54
„ 2	1,17	1,33	1,37
„ 3	1,03	1,20	1,24
„ 4	0,92	1,09	1,14
„ 5	0,82	1,00	1,05
„ 6	0,73	—	0,97

Wir sehen aus dieser Tabelle — was übrigens schon früher bekannt war —, dass die Sonnenstrahlung, die durch ein und dieselbe Schichtendicke gegangen ist, nicht von derselben Stärke ist, indem die Strahlung von den niederen Schichten der Atmosphäre, die reicher an Staub und Wasserdampf sind, stärker absorbiert wird. Ueber die Verteilung des atmosphärischen Staubes in verschiedenen Höhen über dem Meere wissen wir sehr wenig, gewiss nimmt aber der Staubgehalt stark mit der Höhe ab, und gleichzeitig werden die Partikelchen kleiner. Die Annahme scheint deswegen nicht allzu kühn, dass die Einwirkung des Staubes auf den zwei höchsten Stationen, der Cañada und dem Pic, bei derselben Schichtendicke annähernd gleich sei, und dass der Unterschied in der Absorption *hauptsächlich* durch den Wasserdampf be-

1) Die Beobachtungsergebnisse findet der Leser vollständig in Acta Reg. Soc. Upsal. 1900: Intensité de la radiation solaire à différentes altitudes, recherches faites à Ténériffe 1895/96.

dingt sei. Wenn wir unter dieser Annahme die von dem Wasserdampf herrührende Absorption der Sonnenstrahlung berechnen, werden wir wenigstens eine obere Grenze dieser Grösse finden.

Der Wasserdampfgehalt über dem Pic und über der Cañada lässt sich leider nur approximativ mit Hülfe der Gleichung von Hann berechnen.¹⁾ Ich habe dabei gefunden, dass der condensirte Wasserdampf über dem Pic eine Wasserschicht von 0,7 cm Dicke bilden würde und über der Cañada eine Schicht von 1,2 cm Dicke (vgl. Tab. 1). Aus diesen Beobachtungen und Berechnungen ergibt sich folgende kleine Tabelle. Die totale, von der Strahlung durchgangaene Wasserschicht $(l_1 + l_2)/2$ in cm, die Absorption $J_2 - J_1$, die durch die Wasserschicht $l_2 - l_1$ bewirkt wird, und der Transmissionscoefficient p , berechnet durch die Gleichung

$$J_2 = J_1 p^{l_2 - l_1},$$

sind in dieser zusammengestellt.

Tabelle 2.

Absorbirende Wasserschicht	Durchgedrungene Wasserschicht	Absorption	Transmissions- coefficient
$l_2 - l_1$	$\frac{l_1 + l_2}{2}$	$J_2 - J_1$	p
1,1 - 1,5 = 0,4	1,3	1,54 - 1,51 = 0,03	0,952
2,2 - 3,0 = 0,8	2,6	1,37 - 1,33 = 0,04	0,964
3,3 - 4,5 = 1,2	3,9	1,24 - 1,20 = 0,04	0,973
4,4 - 6,0 = 1,6	5,2	1,14 - 1,09 = 0,05	0,972
5,5 - 7,5 = 2,0	6,5	1,05 - 1,00 = 0,05	0,976

Diese Resultate lassen sich jetzt einigermaassen durch die Beobachtungen von Schukewitsch in Pawlowsk²⁾ controliren. Hr. Schukewitsch hat in einer Tabelle Mittelwerte seiner Beobachtungen bei verschiedener Feuchtigkeit zusammengestellt. Aus dieser Tabelle erlaube ich mir folgenden kleinen Auszug anzuführen, der die zuverlässigsten Resultate enthält, indem ich Beobachtungen bei Sonnenhöhen von niedriger als 15° und bei einem Feuchtigkeitsdruck von grösser als 13 mm ausgeschlossen habe.

1) J. Hann, Meteorol. Zeitschr. 11. p. 194. 1894.

2) J. Schukewitsch, Rep. für Meteorol. 17. Nr. 5. 1894.

Tabelle 3.

Sonnenhöhe	Schichtendicke	Feuchtigkeit in mm Druck						
		1	2—3	4—5	6—7	8—9	10—11	12—13
15°	3,81	1,06	1,00	1,00	0,97	0,95	0,98	—
18	3,20	1,15	1,11	1,07	0,09	1,04	0,98	—
24	2,50	1,30	1,23	1,20	1,19	1,17	1,13	1,03
30	2,00	1,37	1,32	1,27	1,29	1,21	1,24	1,19
40	1,56	—	1,40	1,32	1,29	1,28	1,33	1,26
45	1,42	—	1,40	1,36	1,34	1,33	1,29	1,27

Mittels der Gleichung von Hann habe ich auch hier den bei den verschiedenen Beobachtungen vorhanden gefundenen Gehalt des Wasserdampfes berechnet und danach den Transmissionscoefficienten p aus je zwei aufeinander folgenden Beobachtungen, J_1 und J_2 , bei derselben Sonnenhöhe ermittelt. Dabei ist also angenommen, dass verschiedener Staubgehalt nicht wesentlich die Zusammensetzung der Sonnenstrahlung ändert. Die auf diese Weise erhaltenen 32 Werte der Transmissionscoefficienten habe ich in sechs Gruppen verteilt und Mittelwerte berechnet. Die kleine Tab. 4 enthält die so erhaltenen Werte der Transmissionscoefficienten p für die entsprechenden Werte der totalen durchstrahlten Wasserschicht ω :

Tabelle 4.

ω	1,5	2,5	3,8	5,3	7,1	9,7
p	0,961	0,978	0,989	0,991	0,981	0,973

Med. 0,984

Wenn wir durch die ersterwähnten Berechnungen eine obere Grenze für die Absorption des Wasserdampfes erhalten, finden wir dagegen durch diese eine untere Grenze dieser Grösse, denn in der Regel kommt nach Regen der grösste Feuchtigkeitsgehalt vor und der Staubgehalt ist dann am kleinsten.

Man sieht auch, dass die perturbirenden Einflüsse (von atmosphärischem Staub etc. herrührend) trotz der grossen Anzahl Werte, aus denen p hier ermittelt ist, sich doch geltend machen, denn p muss notwendig mit wachsendem ω zunehmen. Uebrigens ist die Uebereinstimmung zwischen Tab. 2 und Tab. 4 ziemlich gut.

Ueber die Absorption in der ersten Wasserdampfschicht lässt sich aber auf Grund dieser Untersuchungen kein Urtheil bilden. Eine Schätzung dieser Absorption ist jedoch möglich und zwar durch spectrobolometrische Untersuchungen des ultraroten Spectrums.

Während des Winters 1899/1900 hatte ich Gelegenheit, mehrmals das ultrarote Spectrum bei verschiedenen niedrigen Temperaturen durchzumustern. Ich benutzte dazu ein Prisma von Steinsalz und den Apparat für continuirliche photo-

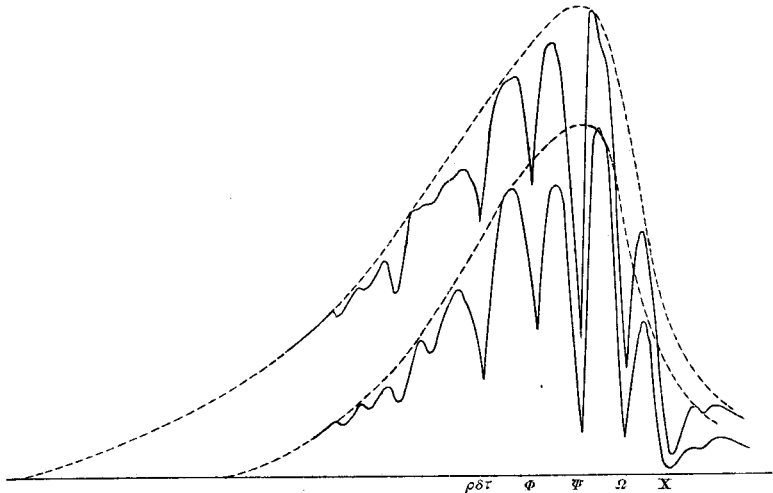


Fig. 3.

graphische Registrirung des ultraroten Spectrums, den ich schon an anderer Stelle beschrieben habe.¹⁾ Die niedrigste Temperatur, -15° , wurde am 10. Februar beobachtet. Der Feuchtigkeitsdruck war 1,3 mm. Die meisten von den grossen Absorptionsstreifen in dem ultraroten Spectrum, besonders diejenigen, welche Langley mit $\rho\sigma\tau$, ϕ , ψ , ω und X bezeichnet hat, waren damals bedeutend reducirt, was also zeigt, dass dieselben wirklich von dem Wasserdampf herühren. Am 24. März wurden mehrere vollständige Aufzeichnungen des Spectrums erhalten. Die vorstehende Fig. 3 giebt

1) K. Ångström, Acta Reg. Soc. Upsal. 1895; Physical Review 3. p. 137. 1895.

eine treue Copie derselben, die von 11 Uhr 40 Min. bis 11 Uhr 55 Min. Vormittags und von 5 Uhr 17 Min. bis 5 Uhr 25 Min. Nachmittags aufgenommen wurden. Gleichzeitig wurden auch Bestimmungen der absoluten Wärmestrahlung mit dem elektrischen Compensationspyrheliometer¹⁾ ausgeführt.

Diese Bestimmungen, sowie diejenigen der Temperatur etc., die mir Hr. Prof. Hildebrandsson gütigst aus dem Journal des Meteorol. Observatoriums zur Verfügung gestellt hat, findet man nachstehend zusammengestellt:

	12 ^h Mittags	5 ^h Nachm.
Luftdruck	762,8	758,7
Temperatur	+ 0,4°	+ 1,2°
Feuchtigkeit	3,3 mm (70 %)	3,7 mm (73 %)
Wind	S.S.W.	S.W.
	11 ^h 50 ^m Vorm.	5 ^h 20 ^m Nachm.
Wärmestrahlung	1,320	0,627 g/Cal. pro Min. u. cm ²

Das Verhältnis der Wärmestrahlung um 11 Uhr 50 Min. zu der um 5 Uhr 20 Min. ist 2,12 nach den absoluten Bestimmungen, 2,05 nach der Registrierung; die Uebereinstimmung also sehr gut.

Aus diesen zwei Curven wurde die Energiecurve für die Strahlung ausserhalb der Atmosphäre berechnet, und aus dieser wieder die Curve für die Sonnenhöhen 32° und 5° 40' unter Annahme einer gleichmässigen Absorption. Diese zwei Curven sind durch punktirte Linien in Fig. 3 angegeben. Der Unterschied zwischen den zwei Curven für dieselbe Sonnenhöhe rührt wohl hauptsächlich von der Absorption des Wasserdampfes her und beträgt ca. 15 bez. 27 Proc. der Gesamtstrahlung, zwischen den Wellenlängen 0,3 und 4 μ . Diese müssen als Minimalwerte der Absorption des atmosphärischen Wasserdampfes betrachtet werden, denn die Teile des Sonnenspectrums von grösseren Wellenlängen als $\lambda = 4\mu$ sind dabei nicht berücksichtigt worden. Wenn wir annehmen dürfen, dass diese Teile des Spectrums in der Strahlung ausserhalb der Atmosphäre nicht fehlen, muss die Absorption der Sonnenstrahlung durch Wasserdampf noch um ca. 5 Proc. vermehrt werden.

1) K. Ångström, Wied. Ann. 67. p. 633. 1899.

Fig. 4 giebt eine Darstellung der Absorption der Sonnenstrahlung durch Wasserdampf, wie wir dieselbe jetzt gefunden haben. Die Strahlung ausserhalb der Atmosphäre ist gleich 100 angenommen, die Ordinaten sind der Stärke der Strahlung, die Abscissen den durchstrahlten Wasserdampfschichten (in Centimetern Wasser) proportional. Die punktirten Linien (*s*) beziehen sich auf die Bestimmungen von Schukewitsch, die voll ausgezogenen Linien (*a*) auf die vom Verfasser ausgeführten, die mit \times bezeichneten Punkte sind durch die spectrobolometrischen Bestimmungen erhalten. Die zwei oberen Curven sind bei Annahme der kleinsten möglichen Absorption

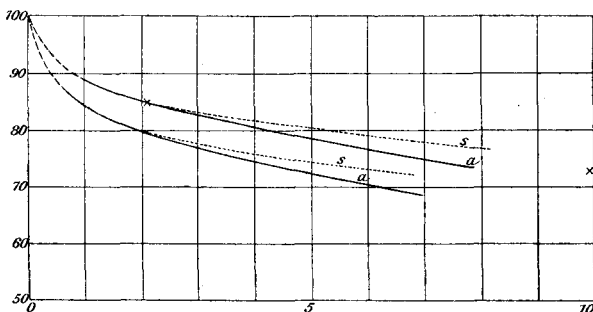


Fig. 4.

in den ersten Wasserdampfschichten, die zwei unteren bei Annahme der grössten möglichen Absorption in diesen Schichten erhalten.

Dass die Erdstrahlung von dem atmosphärischen Wasserdampf kräftig absorbirt wird, ist schon bekannt. Dass diese Absorption sich auch auf die grössten Wellenlängen erstreckt, geht aus den Arbeiten von Rubens und Aschkinass hervor.¹⁾ Quantitative Bestimmungen der Absorption von Wasserdampfschichten verschiedener Dicke, bez. Wärmequellen von niedriger Temperatur, liegen, soviel ich weiss, noch nicht vor.

5. Hr. Arrhenius hat in einigen Arbeiten²⁾ den Einfluss des atmosphärischen Kohlensäuregehaltes auf die Absorption der Erdstrahlung behandelt, indem er auf Grund der bekannten Arbeiten von Langley über die Absorption der

1) H. Rubens u. E. Aschkinass, Wied. Ann. **67**. p. 598. 1899.

2) S. Arrhenius, Bihang till K. S. Vet. Akad. Handlingar **22**. Afd. 1. 1896; Phil. Mag. (5) **41**. p. 237. 1896.

Mondstrahlung¹⁾ die Absorptionscoefficienten der Kohlensäure in verschiedenen Spectralgebieten berechnet hat. Im allgemeinen kann eine solche Berechnung, wie ich schon gesagt (vgl. p. 723—724), der Unreinheit des Spectrums wegen nur ziemlich unsichere Resultate geben, und die Schwierigkeiten vermehren sich noch bedeutend, wenn Absorptionsbänder von zwei verschiedenen Elementen, hier Wasserdampf und Kohlensäure, sich übereinander lagern und es also auf die Trennung der beiden ankommt. In diesem Falle ist aber eine Behandlung des Beobachtungsmateriales, wie es Hr. Arrhenius versucht hat, nicht erlaubt. Hr. Langley war nämlich der Schwäche der Mondstrahlung zufolge genötigt, mit grosser Breite der Spaltöffnung und des Bolometerbandes zu arbeiten und deswegen war zweifellos sein Spectrum sehr unrein. Man kann daher nicht erwarten, dass die Resultate, die Hr. Arrhenius erhalten hat, mit den zuverlässigen directen Bestimmungen übereinstimmen werden. Während durch diese nur drei Streifen, von denen zwei von grosser Schärfe, gefunden worden sind, findet Hr. Arrhenius für die Kohlensäure eine Absorption, die über den grössten Teil des ultraroten Spectrums verbreitet ist. Dass unter diesen Umständen die Berechnung der quantitativen Werte der Absorption sehr fehlerhaft ausfallen muss, ist ziemlich klar. Die Erdatmosphäre würde nach Hrn. Arrhenius, auch wenn sie möglichst trocken ist, ca. 60 Proc. der Erdstrahlung zurückhalten und zwar infolge der Kohlensäureabsorption, die Veränderungen in der Absorption würden colossal mit dem Kohlensäuregehalt variiren und eine genügend grosse Kohlensäureschicht würde sogar die Erdstrahlung vollständig absorbiren.²⁾ Hr. Arrhenius glaubt auch in diesen Variationen eine Ursache der Eiszeit gefunden zu haben. Näher auf diese Theorie, die weiter von Hrn. Eckholm entwickelt wurde³⁾, einzugehen, scheint uns nach dem Angeführten nicht nötig.

Unter keinen Umständen dürfte die durch die Kohlensäure bewirkte Absorption der Erdstrahlung 16 Proc. übersteigen, und die Grösse dieser Absorption ändert sich quanti-

1) S. P. Langley, Mem. of the Nat. Academy 4. 9th mem. 1890.

2) Vgl. die Tabelle l. c. p. 26, bez. p. 251.

3) N. Eckholm, Die Zeitschrift „Ymer“ 1899.

tativ mit dem Kohlensäuregehalt sehr wenig, solange nämlich derselbe nicht weniger als 20 Proc. des vorhandenen beträgt. Die hauptsächlichliche Veränderung, die durch eine Verminderung des atmosphärischen Kohlensäuregehaltes bewirkt wird, ist die, dass die von der Kohlensäure ausgeübte Absorption (ca. 16 Proc. der Erdstrahlung) erst durch eine dickere atmosphärische Schicht vollendet wird, und dass so die Wärme ein wenig mehr in der Atmosphäre verteilt wird.

Erst nachdem diese kleine Abhandlung schon fertig geschrieben war, habe ich die grosse Arbeit: „Atmospheric Radiation“ von Frank W. Very erhalten.¹⁾ Trotzdem in dieser wertvollen Arbeit in ausführlicher Weise dieselben Fragen wie hier behandelt werden, hoffe ich doch, dass auch diese Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Absorption nicht ganz ohne Interesse sein werden.

Upsala, Physik. Inst. d. Univ., October 1900.

1) W. Very, U. S. Departement of Agriculture, Bulletin G. 1900.
(Eingegangen 26. October 1900.)