Zeitschrift: Helvetica Physica Acta

Band: 14 (1941)

Heft: VII

Artikel: Über die Durchlässigkeit der Erdatmosphäre für Sonnenstrahlung der Wellenlänge =2144 Å.E.

Autor: Meyer, Edgar

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-111205

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Über die Durchlässigkeit der Erdatmosphäre für Sonnenstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 2144$ Å. E.

von **Edgar Meyer.**

(28. X. 1941.)

§ 1. HEILPERN[1]) hat kürzlich in dieser Zeitschrift über die Absorption von Licht der Wellenlänge $\lambda = 2144$ Å.E. durch Sauerstoff berichtet. Es zeigte sich, dass diese Absorption das BEER'sche Gesetz *nicht* erfüllt. Stellt man die Absorption dar als

$$J = J_0 \cdot 10^{-\varepsilon_p l},$$

wobei J_0 die einfallende Lichtintensität, J die hindurchgegangene, l die Schichtdicke in cm und ε_p den Absorptions-Koeffizienten des Sauerstoffs bei dem verwendeten Druck p (in mm Hg) bedeutet, so fand HEILPERN, dass die Beziehung gilt:

$$\varepsilon_p = \varepsilon \cdot p^{1,55}.$$

Hierbei bedeutet ε den Absorptions-Koeffizienten von reinem Sauerstoff bei der Wellenlänge $\lambda = 2144$ Å.E. für einen Druck von 1 mm Hg. Zahlenmässig findet HEILPERN

$$\varepsilon = (5,62 \pm 0,36) \cdot 10^{-9}.$$

Da das von HEILPERN untersuchte Druckintervall sich von 148 bis 622 mm Hg erstreckt, kann mit Sicherheit die Gültigkeit dieser Formel nur für dieses Druckbereich beansprucht werden. Da ferner dieses Gesetz keine theoretische Begründung hat, so darf es eigentlich nur als eine Interpolationsformel angesehen werden.

§ 2. Wenn ein Gas bei der Absorption des Lichtes dem BEER'schen Gesetz nicht folgt, so kann man mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass das Gas bei der Absorption auch einen Fremdgaseinfluss aufweist[2]). Setzt man daher dem Sauerstoff ein an sich nicht absorbierendes Fremdgas, z. B. *Stickstoff* zu, so sollte seine Absorption vermehrt werden. Dieser Effekt, der für Sauerstoff schon lange bei einigen Wellenlängen bekannt ist[3]), wurde von

---

[1]) W. HEILPERN, Helv. Phys. Acta, **14**, 329.

[2]) K. ÅNGSTRÖM, Arkiv för Matematik, Astronomi och Fysik **4**, Nr. 30, 1908.

[3]) Literatur bei W. HEILPERN, l. c.

HEILPERN auch für die Absorption des Lichtes bei $\lambda = 2144$ Å.E. nachgewiesen. Er untersuchte zu diesem Zweck Luft sowie verschiedene O_2—N_2-Gemische anderer Konzentration. Er kam zu dem Schluss, dass für O_2—N_2-Gemische in der Absorptionsformel $J = J_0 \cdot 10^{-\alpha_b l}$ zu setzen ist:

$$\alpha_b = \varepsilon\, b^{1,55}\, c\,,$$

wobei b den *Gesamtdruck* des Gemisches, c die Konzentration des Sauerstoffs (für reinen O_2 $c = 1$), ε den oben angegebenen Wert für den Absorptions-Koeffizienten des reinen Sauerstoffs und α_b den Absorptions-Koeffizienten des Gemisches bei dem verwendeten Druck b bedeutet. Auch diese Formel ist nur als *Interpolationsformel* zu werten, und sie ist umsomehr mit Vorsicht anzuwenden, als das von HEILPERN für diesen Fall angegebene Versuchsmaterial recht dürftig ist.

Numerisch ergibt sich also die Absorption der *Luft* ($c = \frac{21}{100}$) für $\lambda = 2144$ Å.E. als

$$J = J_0 \cdot 10^{-5,62 \cdot 10^{-9} \cdot b^{1,55} \cdot \frac{21}{100} \cdot l}.$$

oder

$$J = J_0 \cdot 10^{-1,18 \cdot 10^{-9} \cdot b^{1,55} \cdot l}.$$

Die Fehlergrenze ist gegeben durch $1,18 \pm 0,08$. Für das Folgende ist es bequemer, den Druck in cm Hg zu rechnen, man hat dann:

$$J = J_0 \cdot 10^{-4,19 \cdot 10^{-8} \cdot b^{1,55} \cdot l} \qquad (b \text{ in cm Hg!}).$$

§ 3. Bekanntlich endigt das Sonnenspektrum ziemlich plötzlich etwa bei der Wellenlänge $\lambda = 2900$ Å.E. HARTLEY[1]) hat es zuerst ausgesprochen, dass diese Erscheinung auf das in der Atmosphäre befindliche Ozon zurückzuführen sei, streng bewiesen wurde die Gültigkeit dieser Annahme durch FABRY und BUISSON[2]). Es ist nun eine alte, von mir[3]) zuerst aufgeworfene Frage, ob etwa am Ende der HARTLEY'schen Ozon-Absorptionsbande, etwa bei $\lambda = 2100$ Å.E., noch Sonnenenergie durch die Atmosphäre zu uns gelangt. Experimentell ist oft[4]) nach dieser Strahlung gesucht worden, aber nur zweimal mit Erfolg[5]). Dagegen haben alle bisher

---

[1]) W. N. HARTLEY, Chem. News **42**, 268, 1880.

[2]) CH. FABRY und H. BUISSON, Journ. de Physique **2**, 197, 1921.

[3]) EDGAR MEYER, Ann. d. Phys. **12**, 849, 1903.

[4]) Die ältere Literatur siehe bei EDGAR MEYER, Verhandlungen d. Klimatolog. Tagung Davos 1925, Seite 91 (erschienen bei Benno Schwabe & Co., Basel). Auf die neuere Literatur wird in einer ausführlicheren Arbeit eingegangen werden.

[5]) EDGAR MEYER, M. SCHEIN und B. STOLL, Nature **134**, 535, 1934 und Helv. Phys. Acta **7**, 670, 1934, sowie K. O. KIEPENHEUER, Naturwiss. **26**, 678, 1938; Göttinger Nachrichten **3**, 111, 1938; Zeitschr. f. Geophysik **14**, 327, 1938.

vorliegenden Rechnungen[1]) ergeben, dass es unmöglich sein würde, eine solche Strahlung zu erwarten. Als Grund dafür wird die Absorption des Sauerstoffs angegeben. Wohl besitzt die kombinierte Sauerstoff-Ozon-Absorption etwa bei $\lambda = 2150$ Å.E. ein Minimum, aber die relativ starke Sauerstoff-Absorption soll das Durchkommen der Strahlung verhindern.

Es ist aber darauf hinzuweisen, dass dieses rechnerische Resultat auf folgenden Voraussetzungen beruht. Es wird entweder angenommen, dass für *Luft* das BEER'sche Gesetz gilt, oder aber, dass für den *Sauerstoff* dieses Gesetz gültig ist und dass der Stickstoff keinen Einfluss auf die Absorption des Sauerstoffs ausübt. Es ist sehr merkwürdig, dass diese Annahmen auch für das Ultraviolett gemacht wurden, da man schon lange nach den Versuchen von WARBURG[2]) weiss, dass das BEER'sche Gesetz bei der Sauerstoff-Absorption für die Wellenlänge $\lambda = 2100$ Å.E. nicht gilt. Es muss die Arbeit von WARBURG von allen Autoren bei diesen Rechnungen übersehen worden sein.

Es liegt daher nahe, die HEILPERN'sche Formel, die die Nichtgültigkeit des BEER'schen Gesetzes berücksichtigt, für die Absorption der Luft bei $\lambda = 2144$ Å.E. auf die Atmosphäre anzuwenden. Dieses sei im Folgenden ausgeführt.

§ 4. Ist S_0 die extraterrestrische Sonnenintensität bei $\lambda = 2144$ Å.E., S_h die bis zur Höhe h über dem Erdboden gelangende Strahlung, so gilt für die Absorption der Atmosphäre bei senkrechter Incidenz der Strahlung:

$$S_h = S_0 \cdot 10^{-\int_h^\infty \alpha_b \, dh} .$$

Setzt man den Wert von HEILPERN für α_b ein, so wird der Exponent:

$$\exp. = -\int_h^\infty \alpha_b \, dh = -\int_h^\infty \varepsilon \, c \, b^{1,55} \cdot dh .$$

---

[1]) L. H. DAWSON, L. P. GRANATH und E. O. HULBURT, Phys. Rev. **34**, 136, 1929; H. BUISSON, C. JAUSSERAN und P. ROUARD, Rev. d'Optique **12**, 70, 1933 (siehe dort in § 8 auf Seite 79); K. R. RAMANATHAN und L. A. RAMDAS, Proc. Indian Acad. (A) **1**, 308, 1934; F. W. P. GÖTZ, Vierteljahrsschr. Astr. Gesell. **70**, 343, 1935; E. VASSY, Rev. d'Optique **15**, 81, 1936; ARLETTE VASSY, Thèse Paris 1941.

[2]) E. WARBURG, Berliner Akad. d. Wissenschaften **14**, 230, 1915.

Führt man die barometrische Höhenformel ein (Temperatur der ganzen Atmosphäre zu 0° C angenommen):

$$b = b_0 e^{-\mu h}, \quad \text{wobei } \mu = \frac{\varrho_0}{b_0 \sigma}$$

ϱ_0 = Dichte der Luft unter Normalbedingungen,
b_0 = 76 cm Hg,
σ = 13,596 die Dichte des Hg bei 0° C,

und wählt man als unabhängige Variable den Druck b, so wird:

$$\text{exp.} = -\frac{\varepsilon c}{\mu} \int_0^b b^{(1,55-1)}\, db = -\frac{\varepsilon c}{1,55\, \mu} b^{1,55},$$

und damit

$$S_h = S_0 \cdot 10^{-\frac{\varepsilon c b_0 \sigma}{1,55\, \varrho_0} \cdot b^{1,55}}.$$

Die numerische Auswertung (b in cm, $\varepsilon = 4,19 \cdot 10^{-8}$) ergibt:

$$\boxed{S_h = S_0 \cdot 10^{-0,02159 \cdot b^{1,55}}.}$$

Führt man als unabhängige Variable anstatt b die Höhe h (in cm) des Beobachtungsortes über dem Meeresniveau ein, so erhält man als gleichwertige Formel:

$$\boxed{S_h = S_0 \cdot 10^{-17,763\, e^{-1,940 \cdot 10^{-6} \cdot h}}.}$$

§ 5. Wie stark nach dieser Formel die Absorption der Atmosphäre bei $\lambda = 2144$ Å.E. mit der Erhebung über dem Erdboden abnimmt, zeigt Tabelle 1, in der für verschiedene Höhen die berechneten Exponenten (exp.) angegeben sind.

Tabelle 1.

	h	b	exp.	H	exp. (Beer's Gesetz)
Meereshöhe . . .	0 m	76 cm	– 17,763	7,99 km	– 19,98
Zürich	460 m	72 cm	– 16,247	7,57 km	– 18,93
Arosa.	1900 m	60 cm	– 12,287	6,31 km	– 15,78
Jungfraujoch . .	3500 m	49,5 cm	– 9,096	5,20 km	– 13,00
10 km	10000 m	21,9 cm	– 2,553	2,30 km	– 5,75

Die Tabelle 1 enthält ferner die Exponenten, falls man die Gültigkeit des Beer'schen Gesetzes voraussetzt. Dabei wird von dem Absorptions-Koeffizienten der Luft ausgegangen, den Buisson

und Mitarbeiter (l. c.) für $\lambda = 2144$ Å.E. und die Schichtdicke 1 km zu 2,40 bestimmt haben. Es ist aber zu berücksichtigen, dass sich dieser Wert auf $b = 73$ cm bezieht (vgl. darüber die Bemerkung bei HEILPERN). Ist dann H die Höhe der *homogenen* Atmosphäre von 0^0 C, die sich über dem Beobachtungsort befindet, so ergeben sich die Exponenten bei Gültigkeit des BEER'schen Gesetzes zu $2{,}40\ {}^{76}|_{73}\,H$. Man sieht aus der Tabelle, dass die atmosphärische Absorption der Luft bei Anwendung des HEILPERN'schen Gesetzes ganz wesentlich kleiner wird als bei Annahme des BEER'schen Gesetzes.

§ 6. Um nun zu sehen, ob es möglich ist, die bei $\lambda = 2144$ Å.E. durch die Atmosphäre hindurchgelangende Strahlung nachzuweisen, wird wie folgt vorgegangen. Es sei ein einfacher Quarzmonochromator (etwa der von LEISS, der auch bei den Versuchen von EDGAR MEYER und Mitarbeitern l. c. verwendet wurde) mit dem Öffnungsverhältnis 1 : 4 gegeben. Auf den Eintrittsspalt werde die Sonne mit einem Quarz-Flusspat-Achromaten vom Durchmesser 3 cm und dem gleichen Öffnungsverhältnis abgebildet. Die Spalte mögen eine Weite haben, die gleich dem Durchmesser des von dem Achromaten erzeugten Sonnenbildchens sei. Es ist dann die Frage, wie viele Lichtquanten treffen pro Minute ein Lichtzählrohr, das hinter dem Austrittsspalt des Monochromators angebracht ist.

Wird die Sonne als schwarzer Körper von 6000^0 K angenommen, so ergibt die PLANCK'sche Strahlungsformel unter der Annahme, der Austrittsspalt lasse einen Spektralbereich von $d\lambda = 10$ Å.E. hindurch[1]), dass in den Apparat pro Minute

$$N = 1{,}21 \cdot 10^{16} \text{ Quanten}$$

eintreten, falls die Atmosphäre keine Absorption zeigen würde und falls man senkrechte Incidenz der Sonnenstrahlung annimmt.

Um zu sehen, wieviele Quanten pro Minute wirklich in den Apparat gelangen, ist die Absorption der Luft, die RAYLEIGH'sche Streuung sowie die Absorption durch das atmosphärische Ozon zu berücksichtigen. Die Extinktion der Luft ist in Tabelle 1 schon gegeben, diejenige der RAYLEIGH-Streuung ist zu berechnen nach der Formel $S_h^R = S_0 \cdot 10^{-\beta}$, wobei

$$\beta = \frac{32\,\pi^3}{3\,n\,\lambda^4} \cdot (\mu - 1)^2 \cdot 0{,}4343 \cdot H\,,$$

[1]) Ein Wert, der sicherlich grösser angenommen werden könnte.

n die AVOGADRO'sche Zahl (pro 1 cm³), H wieder die homogene Atmosphäre über dem Beobachtungsort und 0,4343 der Modul der BRIGG'schen Logarithmen bedeutet. μ ist der Brechungsexponent der Luft für $\lambda = 2144$ Å.E., er ist zu 1,0003324 angenommen.

Da die Absorption des Ozons im Ultraviolett das BEER'sche Gesetz befolgt[1]), so erhält man die Ozonextinktion als das Produkt der reduzierten Ozonschicht-Dicke x oberhalb des Beobachtungsortes mit dem Absorptions-Koeffizienten des Ozons für $\lambda = 2144$Å.E. Für letzteren wird 13,7 angenommen[2]). Als Dicke der Ozonschicht wird 0,212 cm gewählt, ein Wert, den Herr GÖTZ am 24. Juli 1940 auf dem Jungfraujoch mit dem photoelektrischen Spektralphotometer von DOBSON, anlässlich gemeinsamer Versuche, gemessen hatte. Die vertikale Verteilung des Ozons wird in folgender Weise berücksichtigt. Für Höhen bis zu 3,5 km wird angenommen, dass die in jeder beliebigen horizontalen Luftstrecke von 1 km Länge vorhandene reduzierte Ozonschicht konstant gleich 0,0021 cm ist[3]). Zur Berechnung der oberhalb 10 km befindlichen reduzierten Ozonschicht wird eine vertikale Verteilung des Ozons angenommen, wie sie von REGENER bei seinem Ballonsonden-Aufstieg vom 30. Oktober 1937 festgestellt wurde[4]).

Tabelle 2.

	x	Extinktion für Luft	Rayleigh-Str.	Ozon	Gesamt-extinction D	N^* pro min.
Meereshöhe .	0,219 cm O_3	− 17,763	− 2,223	− 3,00	− 22,99	$1{,}24 \cdot 10^{-7}$
Zürich . . .	0,218 cm O_3	− 16,247	− 2,106	− 2,99	− 21,34	$5{,}53 \cdot 10^{-6}$
Arosa. . . .	0,215 cm O_3	− 12,287	− 1,755	− 2,95	− 16,99	$1{,}24 \cdot 10^{-1}$
Jungfraujoch	0,212 cm O_3	− 9,096	− 1,448	− 2,90	− 13,44	$\mathbf{4{,}39 \cdot 10^{2}}$
10 km . . .	0,191 cm O_3	− 2,553	− 0,641	− 2,62	− 5,81	$1{,}87 \cdot 10^{10}$

In Tabelle 2 ist das Resultat dieser Rechnungen eingetragen. Die Gesamtextinktion der Atmosphäre D ist gleich der Summe der drei einzelnen Extinktionen. Die in den Monochromator pro Minute gelangende Anzahl Lichtquanten der Wellenlänge $\lambda = 2144$ Å.E.

---

[1]) EDGAR MEYER, l. c.; ferner E. VON BAHR, Ann. d. Phys. **33**, 598, 1910.

[2]) Nach NY TSI-ZE und CHOONG SHING-PIAW (C. R. **196**, 916, 1933) unter Berücksichtigung der Werte von EDGAR MEYER (l. c.) extrapoliert. Die neusten Werte von Frau ARLETTE VASSY (l. c.) würden 13,1 ergeben.

[3]) F. W. P. GÖTZ, Ergebnisse der kosmischen Physik, Band III, p. 274—277, Leipzig, Akad. Verlagsgesellschaft.

[4]) V. R. REGENER, Zeitschr. f. Physik **109**, 642, 1938.

ergibt sich daher unter Berücksichtigung der atmosphärischen Absorption zu

$$N^* = 1{,}21 \cdot 10^{16} \cdot 10^{-D}.$$

Die Werte von N^* sind in Kolonne 8 der Tabelle 2 eingetragen. Man sieht also, dass *bei senkrechter Incidenz auf dem Jungfraujoch von der Wellenlänge $\lambda = 2144$ Å.E. pro Minute 439 Lichtquanten durch die Atmosphäre hindurch in den Monochromator gelangen würden.*

Allerdings ist dieses nicht die Anzahl Lichtquanten, die auf das Zählrohr wirklich auftreffen und dort registriert werden. Um diese Zahl zu erhalten, muss noch die Zenitdistanz der Sonne, der Verlust der Strahlung durch Reflexion (am Heliostatenspiegel, an den Linsen- und den Prismenflächen des Monochromators, am Zählrohr), der Verlust durch Absorption im Quarz sowie der Ausbeutefaktor des Lichtzählrohres berücksichtigt werden. Auf diese Korrektionen soll aber hier nicht weiter eingegangen werden.

§ 7. Das wichtige Resultat dieser Arbeit scheint folgendes zu sein. Zum erstenmal wurde hier, um die Absorption der Atmosphäre zu berechnen, die Nichtgültigkeit des BEER'schen Gesetzes für die Absorption der Luft in Rechnung gestellt. Das Ergebnis ist, dass tatsächlich eine sehr beträchtliche Anzahl Lichtquanten von der Wellenlänge $\lambda = 2144$ Å.E. durch die Atmosphäre bis zu höheren Erhebungen des Erdbodens (Jungfraujoch) hindurchgelangen können, ein Ergebnis, das von allen bisherigen Autoren, die sich mit dieser Frage beschäftigt haben, verneint wurde.

Es sei noch etwas über die Zuverlässigkeit der angestellten Überlegungen gesagt. Die HEILPERN'sche Absorptionsformel für Luft ist natürlich theoretisch nicht irgendwie begründet, sie stellt daher, wie nochmals ausdrücklich betont sei, nur eine Interpolationsformel dar. Man kann sich daher fragen, wie weit die verwandte Extrapolation (Integration vom Druck Null bis Normaldruck) berechtigt sei. Nun ist es aber wahrscheinlich möglich, die HEILPERN'schen Messungen noch auf andere, theoretisch begründete Weise zu interpretieren, indem man von einer Anregung Ångströms (l. c.) ausgehend, die Überlegungen WARBURGS (l. c.) verwendet, um den Einfluss des Stickstoffs auf die Absorption des Sauerstoffs bei $\lambda = 2144$ Å. E. zu berücksichtigen. Führt man dieses aus, so ergibt sich eine Durchlässigkeit der Atmosphäre, die noch grösser ist als die hier abgeleitete.

Eine starke Stütze erhält unser Resultat auch noch dadurch, dass es möglich ist, dieselben Überlegungen für eine andere be-

nachbarte Wellenlänge ($\lambda = 2100$ Å.E.) auszuführen, indem man auf die Messungen von WARBURG (l. c.) zurückgreift. Da hier nicht genügend Platz zur Verfügung steht, um darauf weiter einzugehen, soll darüber in einer in Kürze in den Helv. Phys. Acta erscheinenden Arbeit ausführlich berichtet werden.

Ich freue mich aber, im Ehrenheft für Herrn HAGENBACH das Hauptresultat der Arbeit, nämlich dass unsere Atmosphäre für sehr kurzwelliges Sonnenlicht in *merkbarer* Weise wieder durchlässig wird, angeben zu können.

Zürich, Physikalisches Institut der Universität.