

Werk

Jahr: 1924

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:1

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0001

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0001

LOG Id: LOG_0056

LOG Titel: Über die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die Sonnenstrahlung

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Über die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die Sonnenstrahlung.

Von Otto Hoelper, Riezlern.

Die Bouguersche Formel Trübungsfaktor. Anteile der Strahlungsschwächung. — Extinktionskoeffizienten für molekulare und H_2O -Zerstreuung. Absorptionskoeffizienten für selektive H_2O -Absorption und für Dunst. Tages- und Jahresgang in Monatsmitteln für Riezlern. — Vergleichsmessungen auf Borkum. — Abhängigkeit der atmosphärischen Trübung von der Wetterlage.

Die Formel von Bouguer stellt den empirischen Zusammenhang dar zwischen der extraterrestrischen Sonnenstrahlung und der nach ihrem Durchgang durch die Atmosphäre gemessenen. Sie ist der mathematische Ausdruck für die durch Beobachtungen hinlänglich gesicherte Tatsache, daß die Lichtschwächung einer dünnen Schicht der Atmosphäre proportional ist der Dichte der durchstrahlten Schicht. Da die Dichte eine Funktion des Druckes ist, so bestimmt

$$I = I_0 \cdot e^{-\int_b^0 \varphi \cdot db} \dots \dots \dots (1)$$

die Intensität der Strahlung im Niveau des Druckes b ; wir konnten sie rechnerisch ermitteln, wenn die Funktion φ bekannt und damit das Integral auflösbar wäre.

Die Formel ist zunächst nur für homogene Strahlung gültig. Es darf als feststehend angenommen werden, daß die Zerstreuung an den Luftmolekeln umgekehrt proportional der vierten Potenz der Wellenlänge erfolgt. Der Anteil des Wasserdampfes an der nichtselektiven Schwächung der Strahlung beruht nicht auf der Diffraktionswirkung an den Wasserdampfmolekeln, sondern an größeren Teilchen. Er ist umgekehrt proportional der zweiten Potenz der Wellenlänge. Der Transmissionskoeffizient, das Verhältnis der bei der Schichtdicke Eins austretenden zur eintretenden Strahlung, nimmt daher mit der Wellenlänge stark zu; da mit wachsender durchstrahlter Luftmasse das nichthomogene Licht also ärmer an kleinen Wellenlängen wird, so ändert sich mit wachsender Luftmasse der Transmissionskoeffizient der Gesamtstrahlung: er wird größer.

F. E. Fowle*) hat die Transmissionskoeffizienten verschiedener Wellenlängen für trockene wasserdampffreie Luft bestimmt, und zugleich den Faktor, der bei wechselndem Wassergehalt der Atmosphäre zu ihm hinzutritt. F. Linke**) hat aus diesen Transmissionskoeffizienten der homogenen Strahlung in einem zweckmäßigen Näherungsverfahren die Transmissionskoeffizienten der inhomogenen Gesamtstrahlung berechnet. Durch die strenge Scheidung zwischen dem „speziellen“ und „wirklichen“ Transmissionskoeffizienten hat er dem Durcheinander der fast von jedem Autor anders definierten Transmissionskoeffizienten ein Ende gemacht und die Grundlage gegeben für eine Trennung der verschiedenen Anteile der atmosphärischen Strahlungsschwächung.

*) Fowle: Astrophys. Journ. **35**, 149 (1912), **37**, 359 (1913); **38**, 392 (1913).

) Linke: Beitr. z. Physik d. fr. Atmosphäre **10, 91 (1922).

Für den Strahlungsverlust beim Durchgang durch die Atmosphäre kommen fünf Ursachen in Betracht: Die Extinktion durch die Luftmoleküle selber, die Extinktion und die selektive Absorption an dem meist vorhandenen Wasserdampf, die Absorption durch die permanenten Gase der Atmosphäre und schließlich die Absorption (oder Reflexion) durch den wechselnden Gehalt an trockenem oder feuchtem Dunst. Nur die Extinktion durch die Luftmoleküle und den Wasserdampf läßt sich durch die Formel von Bouguer rechnerisch genau erfassen, da nur für diesen Fall das Integral $\int \varphi$ auflösbar ist. Die Absorptionsvorgänge unterliegen weniger einfachen Gesetzmäßigkeiten, und über die Strahlungseinbuße durch Dunst wissen wir bisher überhaupt kaum etwas.

Betrachten wir also die gesamte Schwächung der eindringenden Sonnenstrahlung bis zu einem gewissen Punkte der Atmosphäre, so tritt an die Stelle des Integrals ein empirisch zu bestimmender Mittelwert, und wenn wir den von der Strahlung zurückgelegten Weg auf den bei senkrechter Inzidenz durchlaufenen als Einheit beziehen, so gewinnt das Bouguersche Gesetz die bekannte Form

$$I = I_0 \cdot e^{-m \cdot A} = I_0 \cdot q^m \dots \dots \dots (2)$$

Die Konstante A (oder q) — eine Funktion der Luftmasse — besitzt aber nur für den betreffenden Beobachtungsort Gültigkeit. Ihre Reduktion auf ein anderes Niveau ist so lange unmöglich, als wir über die Abhängigkeit der selektiven Absorption und des Dunstes von der Höhe nichts wissen.

Der Dunst- und Wassergehalt der Atmosphäre ist beträchtlichen Schwankungen unterworfen. Linke hat daher den Trübungszustand der Atmosphäre durch Einführung des Trübungsfaktors charakterisiert. Dabei faßt Linke den Anteil der selektiven Absorption und des eigentlichen Dunstes (feste und flüssige Bestandteile der Atmosphäre) zusammen und macht die Annahme, daß bei gleichbleibendem Dunstgehalt die Größe $T = A : a$ (wo a nur die molekulare Extinktion umfaßt) für alle Luftmassen konstant sei, d. h. daß die Extinktion (Absorption) des Dunstes in derselben Weise mit wachsender Wellenlänge abnehme wie die Molekularextinktion. Die quantitative Zulässigkeit der Hypothese mußte durch besondere Versuche geprüft werden.

In erster Annäherung scheint der Trübungsfaktor für die zeitlichen Änderungen der atmosphärischen Durchlässigkeit eines bestimmten Beobachtungsortes ein zutreffendes Maß abzugeben. Dagegen ist er zu einer allgemeinen Vergleichung ebensowenig auf Meeresniveau reduzierbar, wie der aus Strahlungsmessungen ermittelte Koeffizient der Gesamtextinktion. Als Einheit der Luftmasse können wir mangels Kenntnis der genauen Dichteverteilung in der Atmosphäre stets nur die jeweils senkrechte Entfernung des Beobachtungsortes von der Grenze der Atmosphäre nehmen; auf diese Einheit muß folglich die Gesamtextinktion und die in ihrer gesetzmäßigen Änderung berechenbare Molekularextinktion bezogen werden. De facto geschieht dies zwar bei der „Reduktion der Luftmassen auf 760 mm“. Denn in der Bestimmungsgleichung des Trübungsfaktors

$$T = \frac{A_m}{a_m} = \frac{2.3}{m \cdot a_m} \cdot \log \frac{I_0}{I_m} \dots \dots \dots (3)$$

bleibt das Verhältnis $A:a$ dasselbe, ob wir das aus Beobachtungen ermittelte A mit dem Verhältnis der Barometerstände oder das theoretische a mit dem umgekehrten Verhältnis multiplizieren. Aber der Vergleich der Trübungsfaktoren verschiedener Beobachtungsorte untereinander hat eine weit weniger einfache Bedeutung als die des Vergleichs bloßer Zahlengrößen. Die Schwankungen der Trübungsfaktoren an einem bestimmten Beobachtungsort sind durch die Beziehung auf eine diesem eigentümliche Einheit denen eines anderen Beobachtungsortes nicht kommensurabel.

Über die verschiedenen physikalischen Vorgänge bei der Schwächung der Strahlung durch Dunst sind vorerst nur Vermutungen möglich. Einmal spielt die Reflexion an den größeren festen Teilchen eine bedeutende Rolle. Die durchgehende Strahlung wird abgelenkt und zerstreut, verschieden nach der Größe der Dunstpartikeln. Feste Dunsteilchen, Ionen usw. dienen als Ansatzkerne von Kondensationen. Während das flüssige Wasser im Gegensatz zum Wasserdampf molekular zerstreut, hängt der Zerstreungsgrad der festen Teilchen davon ab, ob sie groß oder klein gegen die Wellenlänge des Lichtes sind. Zu dieser mechanischen Trübung durch feste und flüssige Bestandteile der Atmosphäre, die außer durch Zerstreung auch noch in beträchtlichem Ausmaß selektiv absorbierend wirken, tritt eine optische, die bedingt ist durch die Turbulenz der Atmosphäre.

Es ist bekannt, daß die der Erde unmittelbar aufgelagerten dunst- und wasserdampfreichen Schichten der Atmosphäre die Strahlung besonders stark schwächen. Sie reichen infolge der allgemeinen Turbulenz im Sommer höher hinauf als im Winter, ihre obere durchschnittliche Grenze liegt zwischen 500 und 1000 m. Durch gleichzeitige Messungen wird es gelingen, die Schwächung der Sonnenstrahlung in diesen Schichten meßbar zu verfolgen. In der vorliegenden Untersuchung soll der Versuch gemacht werden, aus Mittelwerten der in 1100 m Meereshöhe gemessenen Strahlung*) die verschiedenen Anteile der durch die Atmosphäre und ihre Beimengungen verursachten Schwächung festzulegen. Die tägliche und jährliche Schwankung im Betrag dieser Verluste, ihre Abhängigkeit von der Wetterlage und der Seehöhe lassen erkennen, daß wir von einer rechnerischen Erfassung der atmosphärischen Trübungsverhältnisse noch weit entfernt sind.

Die „wirklichen“ Koeffizienten der molekularen Extinktion sind für einen mittleren Barometerstand von 670 mm:

$m = 1.0$	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$a_m = 0.109$	0.102	0.097	0.093	0.089	0.086	0.084

und lassen sich durch die Formel darstellen:

$$a_m = 0.109 - 0.042 \cdot \log m \dots \dots \dots (4)$$

Für verschiedenen Wassergehalt, ausgedrückt in Zentimeter Niederschlag, ergeben sich die wirklichen Extinktionskoeffizienten dunstfreier feuchter Luft für die Seehöhe von 1100 m:

	$m = 1$	2	3	4
für $w = 1$ cm	0.124	0.111	0.102	0.095
„ $w = 2$ „	0.140	0.124	0.114	0.106
„ $w = 3$ „	0.155	0.137	0.126	0.118

*) Hoelper: Meteorol. Zeitschr. 1924, S 346.

Beide sind verbunden durch die Beziehung

$$a_{w,m} = a_m \cdot (1 + 0.14 \cdot w) \dots \dots \dots (5)$$

Die Differenz der aus den Beobachtungen ermittelten wirklichen Extinktionskoeffizienten gegen diese $a_{w,m}$ enthält den nicht auf molekulare oder Wasserdampfextinktion zurückzuführenden Anteil der Strahlungsschwächung.

Die „Absorptionskoeffizienten des Dunstes“ (in weiterem Sinne) geben die großen Änderungen im täglichen und jährlichen Gang der atmosphärischen Trübung wieder. Auf gleiche Luftmassen bezogen, nehmen sie von Januar bis Juni zu, von Juli bis Dezember-Januar wieder ab (zwischen 0.36 und 0.19). In der zweiten Jahreshälfte liegen sie durchschnittlich über denen der ersten Hälfte. Im Tagesgang steigen sie im Mittel morgens regelmäßig an, über Mittag hinaus wachsend bis etwa zur Luftmasse 2, um dann schnell abzunehmen; bei Luftmasse 4 liegen sie meist bereits unter den Morgenwerten. Im großen und ganzen ist ihr Gang parallel mit dem des Trübungsfaktors. Die starken regelmäßigen Schwankungen enthalten offenbar funktionelle Zusammenhänge mit den gleichsinnigen regelmäßigen Änderungen der meteorologischen Elemente. Doch ist eine eindeutige Abhängigkeit von der Temperatur, dem Dampfdruck oder der relativen Feuchtigkeit zunächst nicht nachzuweisen.

Wir wissen, daß die Dunstpartikeln meist hygroskopischer Natur sind. Der an sie gebundene Wasserdampf wirkt einmal extingierend im gesamten Spektrum — in diesen Teilen ist er durch die Koeffizienten $a_{w,m}$ erfaßt — und dann aber auch selektiv absorbierend. Während die selektive Absorption der permanenten Gase in der Atmosphäre nur einen kaum merkbaren Anteil (etwa 1 Proz.) der Strahlung verwandelt, absorbiert der Wasserdampf sehr beträchtliche Mengen, die den Strahlungsverlust durch Extinktion um ein Mehrfaches übersteigen. F. E. Fowle*) hat aus spektrobolometrischen Messungen den Zusammenhang zwischen Strahlungsverlust durch selektive Absorption und Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre empirisch ermittelt. Er ist mit großer Genauigkeit bereits durch eine Kurve zweiter Ordnung darzustellen; die von Fowle für drei verschiedene Beobachtungsorte gegebenen Daten lassen die gewählten relativen Einheiten mit einer für Mittelwerte hinreichenden Annäherung auf Grammkalorien beziehen.

Gehen wir von den obengenannten Absorptionskoeffizienten zu den ihnen entsprechenden Strahlungsverlusten in Grammkalorien über, so können wir den durch selektive Absorption des Wassergehaltes verursachten Anteil abtrennen und den bleibenden Rest als Strahlungsverlust durch reinen Dunst ansehen. Rückwärts finden wir dann die den beiden Anteilen zukommenden Absorptionskoeffizienten s_m und d_m .

Die Absorptionskoeffizienten der selektiven Wasserabsorption erweisen sich als linear abhängig vom Wasserdampfgehalt der Atmosphäre, wenn wir sie auf gleiche Luftmassen beziehen. Dabei entspricht dem Wasserdampfgehalt 0 cm Niederschlag eine Konstante.

*) Fowle *Astrophys. Journ.* **42**, 394 (1915).

	$m = 1.5$	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
für $w = 0$ cm	0.051	0.044	0.039	0.035	0.032	0.030
" $w = 1$ "	0.069	0.061	0.054	0.048	0.044	0.041
" $w = 2$ "	0.088	0.077	0.069	0.062	0.056	0.053

Ganz entsprechend den Koeffizienten der molekularen und der Wasserdampfextinktion läßt sich der Zusammenhang der Absorptionskoeffizienten durch die Formel darstellen:

$$s_{w,m} = (0.059 - 0.05 \log m) \cdot (1 + 0.38 \cdot w) \dots \dots \dots (6)$$

Es ist also wohl das Verhältnis $s_{w,m} : s_{0,m}$ konstant; aber das Verhältnis $s_{w,m} : a_m$ nimmt mit wachsender Luftmasse deutlich ab. Offenbar erfolgt mit zunehmender Luftmasse die Absorption kleiner Wellenlängen in einer wasserdampfgesättigten Atmosphäre schneller als die Extinktion. Das ist nicht unerwartet; denn die Absorption, die nach der fast allgemein angenommenen Anschauung auf Resonanz beruht, hängt ab vom molekularen Aufbau der absorbierenden Schichten; die Extinktion des Wasserdampfes dagegen geht an Teilchen vor sich, die groß sind gegen die Wellenlänge des Lichtes. Wir müssen annehmen, daß ein gewisser konstanter Betrag den Kondensationskernen zuzuschreiben ist, die als Träger dienen für die sich anlagernden H_2O -Moleküle. Ein Teil des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes ist sicherlich kondensiert, aber das Spektrum gibt darüber keine Auskunft, da die Absorptionsbanden des flüssigen und dampfförmigen Wassers bei den gleichen Wellenlängen liegen.

Nach Abtrennung der Anteile der Extinktion und der selektiven Absorption bleibt der Strahlungsverlust durch reinen Dunst als Rest übrig. Die Absorptionskoeffizienten des reinen Dunstes sind in ihrem Mittelwert von etwa der gleichen Größenordnung wie die der selektiven Absorption, doch haben sie eine weit größere Amplitude. Im Winter ist die Dunstabsorption des geschlossenen Hochtales praktisch zu vernachlässigen. Erst im Frühjahr erreicht sie eine nennenswerte Größe. Unverkennbar ist der Zusammenhang mit der Bodenbedeckung. Solange dieser von Schnee bedeckt ist, ist auch die Turbulenz nur gering. Im Sommer steigen die Absorptionskoeffizienten stark an, auf fast das Hundertfache der Winterwerte. Durch sehr geringen Dunstgehalt ist die Atmosphäre im Herbst ausgezeichnet; ganz im Gegensatz zu dem noch sehr hohen Strahlungsverlust durch Wasserdampf sinkt der Verlust durch trockenen Dunst schnell auf sehr kleine Beträge herab.

Die tägliche Schwankung der selektiven Wasserdampfabsorption folgt natürlich dem täglichen Gange des Dampfdrucks mit einem Maximum in den frühen Nachmittagsstunden. Sie erreicht im Sommer in den Mittelwerten eine Größe von 50 Proz. In Einzelfällen kann sie bedeutend stärker variieren. In den Dunstkoeffizienten kommt offensichtlich sehr stark der Einfluß der Wetterlage und auch lokaler Verhältnisse zum Ausdruck. Wenn Dunstmassen in der Frühe das Tal erfüllen, sind die morgendlichen Werte anormal hoch; während im Mittel ungestörter Tage (Februar-März und Juli-August) die Absorptionskoeffizienten des Dunstes morgens ansteigen, tritt in jenem Falle (vgl. April und Mai) mit abnehmenden Dunstkoeffizienten erst ein Aufklären der Atmosphäre ein, bis der der Jahreszeit entsprechende mittlere Wert erreicht ist. Das Maximum der

Dunstababsorption fällt meist in die frühen Nachmittagsstunden; später nimmt sie wieder ab. Doch scheint im Herbst bei kürzerer Tagesdauer eine abermalige Zunahme der Absorptionskoeffizienten mit wachsender Luftmasse die Regel zu sein. Die nachfolgenden Tabellen geben eine Übersicht über die wechselnde Zusammensetzung der im Mittel an der atmosphärischen Schwächung der Sonnenstrahlung beteiligten Faktoren.

Tabelle I. Extinktionskoeffizienten für H₂O-Zerstreuung (0.0...).

	$m = 3.5$	3.0	3.5	2.0	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Januar	06	07	07	—	—	—	—	07	07	06	06
Februar	05	05	05	06	—	—	06	06	05	05	05
März	09	10	10	11	11	11	11	11	11	11	10
April	15	15	16	16	17	15	15	14	12	12	11
Mai	18	19	20	21	24	26	25	23	23	21	20
Juni	20	21	22	23	25	27	24	23	23	22	22
Juli	23	25	25	27	29	33	31	29	28	27	26
August	23	24	26	26	29	32	30	29	27	26	26
September	18	20	21	22	25	27	27	25	24	23	23
Oktober	14	15	16	17	19	19	19	18	17	17	17
November	13	14	14	—	—	—	—	16	16	15	15
Dezember	07	07	08	—	—	—	—	08	08	07	07

Tabelle II. Absorptionskoeffizienten für selektive H₂O-Absorption (0.0...)

	$m = 3.5$	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Januar	36	38	—	—	—	—	—	—	37	36	36
Februar	37	40	46	51	—	—	51	45	41	38	35
März	41	45	50	56	66	67	57	51	47	43	40
April	48	51	58	64	75	72	61	56	47	44	41
Mai	49	55	61	68	84	90	73	65	59	54	50
Juni	52	57	64	70	84	86	71	64	59	55	50
Juli	56	61	67	73	90	91	79	71	64	60	56
August	53	61	68	74	92	94	79	71	64	62	56
September	52	57	62	71	87	89	76	71	63	57	52
Oktober	48	52	58	64	78	78	68	60	55	51	48
November	47	51	53	—	—	—	—	56	54	50	46
Dezember	41	45	—	—	—	—	—	3	46	40	39

Tabelle III. Absorptionskoeffizienten für Dunst (0.0...).

Januar	00	(-02)	—	—	—	—	—	—	01	(-02)	(-05)
Februar	02	02	12	—	—	—	—	29	19	12	08
März	15	22	24	31	28	30	43	53	49	44	36
April	75	57	48	30	30	44	57	61	64	62	64
Mai	62	52	49	49	49	49	65	71	68	69	72
Juni	75	77	79	72	57	104	108	107	100	100	91
Juli	46	45	50	56	59	112	106	100	73	60	53
August	46	36	30	35	31	51	48	43	42	25	16
September	32	22	16	11	13	11	03	04	09	13	08
Oktober	28	22	08	01	23	17	12	14	16	18	22
November	19	09	01	—	—	—	—	01	08	10	06
Dezember	19	11	—	—	—	—	—	—	08	02	01

Vergleichsmessungen. In den Sommer- und Herbstmonaten Juli bis Oktober 1924 habe ich auf der Nordseeinsel Borkum Vergleichsmessungen angestellt, die in besonderem Hinblick auf die Benutzung des gleichen Instruments und der gleichen Beobachtungsmethode zu den seit 1922 in Riezlern getätigten

in Beziehung gesetzt werden sollen. Die Beobachtungen sind zu wenig zahlreich, um aus ihnen Normalwerte im Sinne der Meteorol. Zeitschr. 1924, S. 346 geforderten Eigenschaft ableiten zu können. Immerhin lassen sie das für eine Gegenüberstellung in diesem Zusammenhang Wesentliche erkennen.

Tabelle IV. Absorptionskoeffizienten (0.0...).

a) Selektive H ₂ O-Absorption.												
<i>m</i> = 4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
Juli	69	70	75	85	90	106	106	90	80	75	70	69
August	70	71	75	82	91	107	107	91	82	75	71	70
September	65	67	72	79	87	—	—	87	78	72	66	65
Oktober	58	61	65	71	81	—	—	81	74	67	63	60
b) Dunstabsorption.												
Juli	76	84	94	91	95	110	76	90	76	87	74	62
August	62	56	95	98	105	78	—	—	—	—	—	—
September	40	40	47	39	53	—	—	28	30	35	28	25
Oktober	105	93	97	70	73	—	—	78	91	144	168	192

Entsprechend dem höheren, geringeren Schwankungen unterworfenen Wasserdampfgehalt an der See ist die H₂O-Absorption größer und gleichmäßiger als im Hochgebirge. Die auf gleiche Luftmasse bezogenen Absorptionskoeffizienten hängen hier wie dort linear ab von der in Zentimeter Niederschlag gemessenen Wassermenge. Für gleiches *w* sind die Koeffizienten von Borkum größer als die von Riezlern, da der Druck im niedrigeren Niveau größer ist. Sie lassen sich durch eine der obigen Formel (6) analoge darstellen; doch sei auf deren Wiedergabe verzichtet, da die Extrapolation auf niederen Wasserdampfgehalt mit zu großen Ungenauigkeiten behaftet ist. Während der Betrag der selektiven Absorption offenbar gesetzmäßig mit abnehmender Höhe wächst, ist die Absorption durch den Dunst sprunghaft gesteigert. In einer Atmosphäre, die durch den Reichtum an festen Teilchen (Salzpartikel) ausgezeichnet ist, muß natürlich der Betrag der Dunstabsorption besonders groß sein. Sei es nun, daß der Strahlungsverlust durch Absorption oder Reflexion an den festen Teilchen eintritt, oder daß diese als Ansatzkerne für kondensierende Wasserteilchen dienen, die beim Überschreiten einer gewissen Größe als feuchter Dunst okular sichtbar absorbierend wirken. Die Verhältnisse können außerordentlich kompliziert sein, und für die Veränderlichkeit der Erscheinungen haben sich noch keine Regeln aufstellen lassen. Zwar bleibt qualitativ, d. h. bezüglich der Lage der Absorptionsbanden, die Konstanz des H₂O-Spektrums in allen Aggregatzuständen erhalten. Aber die physikalische oder chemische Bindung fester Bestandteile der Atmosphäre an H₂O-Moleküle ist mit tiefgehenden Änderungen der Absorption verbunden. Da Disgregationen sowohl wie Hydratbildungen, Hydrolyse oder Dissoziation den molekularen Aufbau der absorbierenden Teilchen erheblich modifizieren.

Charakteristisch für die Absorption in Borkum ist, daß die Morgenwerte gegenüber den nachmittäglichen relativ hoch sind, und daß die Tagesschwankung eine nur kleine Amplitude besitzt, welche die der selektiven Absorption nicht wesentlich übersteigt. Die Bodenfläche der Insel ist nicht groß genug, eine

eigene Luftzirkulation auszubilden. Die Turbulenz der Atmosphäre ist daher nur gering. Durch eine gleichförmige horizontale Luftbewegung wird die schichtmäßige Anordnung der absorbierenden Teilchen offenbar weniger gestört. So erklärt sich die Gleichmäßigkeit der Dunstabsorption in den Sommermonaten, in denen zur Zeit der Beobachtungen für Luftmassen kleiner als 4 die Atmosphäre in einem gewissen Gleichgewichtszustand sich befindet. Im Spatherbst — der im Hochgebirge sich durch besonders große Klarheit der Atmosphäre auszeichnet — lagern dichte Dunstmassen in den Morgen- und Abendstunden über der Insel, die natürlich eine besonders starke Schwächung der Strahlung herbeiführen und eine direkte Umkehrung des täglichen Ganges der Absorptionskoeffizienten im Gefolge haben.

Von entscheidender Bedeutung für die Veränderlichkeit der Dunstabsorption muß in Borkum die jährliche Drehung der Windrichtungen sein. Im Herbst und Winter herrschen ozeanische Winde vor, während im Frühsommer, etwa April bis Juni, ostliche und nordöstliche Winde überwiegen, die oft mit großen Mengen festländischen trockenen Staubes beladen sind. Länger durchgeführte Beobachtungen werden daher über die Natur der trübenden Teilchen Aufschluß geben können.

Tabelle V. Absorptionskoeffizienten für Dunst in Abhängigkeit von der Wetterlage (0.0...).

		a) Kontinentales Hoch.									
$m = 3.5$		5.0	2.5	2.0	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Winter	05	04	02	—	—	—	—	00	08	08	06
Frühjahr	16	20	24	30	41	47	75	65	59	52	39
Sommer	37	44	49	57	63	105	82	63	56	41	31
Herbst	17	13	08	08	—	—	02	04	10	11	09
		b) Föhnlage.									
Winter	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Frühjahr	24	30	37	34	26	40	27	37	54	54	55
Sommer	09	24	24	17	19	42	56	68	75	67	66
Herbst	00	00	00	00	—	—	03	06	14	16	17
		c) Tiefdruckausläufer.									
Winter	09	09	14	—	—	—	—	23	16	24	18
Sommer	61	85	82	86	75	100	101	88	93	80	79

Die Abhängigkeit der atmosphärischen Trübung von der Wetterlage. Es ist oben bereits darauf hingewiesen worden, daß in den wechselnden Absorptionsverhältnissen ein nicht unbeträchtlicher Einfluß der herrschenden Witterung enthalten ist. Wenn es schon gelungen ist, in den Änderungen des Trübungsfaktors eine Beziehung zur Wetterlage aufzufinden, so muß diese um so schärfer sich ausprägen, wenn wir den vom Dampfdruck direkt abhängigen, mit der Witterung aber in nur losem Zusammenhang stehenden Anteil der selektiven H₂O-Absorption abtrennen. Zumal nachdem gezeigt worden ist, daß mindestens dieser Anteil an der Größe des Trübungsfaktors eine Funktion von m , also auch bei gleichbleibendem Trübungszustand veränderlich ist, müssen wir auf die Absorptionsveränderlichkeit des eigentlichen Dunstes zurückgehen. Die

Betrachtung von Einzelfällen wird natürlich erst die Möglichkeit abgeben für eine quantitative Behandlung dieser Frage; aber bereits in den hier zugrunde gelegten Mittelwerten sind die gesuchten Zusammenhänge gut erkennbar.

Die Beobachtungen entstammen vollständigen nicht interpolierten Tagesreihen. Sie lassen sich ohne Zwang in drei Gruppen einreihen: 1. Tage, an denen ein kontinentales Hoch die Wetterlage beherrscht (östliche bis nördliche Winde, beständiges Wetter). 2. Ausgesprochene Föhnstage (südliche und südwestliche absteigende Luftzufuhr, meist Witterungsumschlag folgend). 3. Tage im Bereich eines Tiefdruckausläufers oder Randtiefs (westliche Winde, veränderlicher Witterungscharakter).

Der in der oben wiedergegebenen Tabelle III gut ausgeprägte tägliche Gang der Absorptionskoeffizienten des Dunstes bleibt bei wechselnder Witterung erhalten. Indessen tritt im Verlauf der an- und absteigenden Äste ein in die Augen fallender Unterschied zutage. Die einem kontinentalen Maximum entstammenden Winde, lokal meist als schwache talaufwärtsgerichtete Luftströmung in Erscheinung tretend, verursachen oft eine nicht geringere Trübung, als wenn die Atmosphäre unter dem Einfluß von Tiefdruckausläufern steht. Während aber in letzterem Falle die Dunstabsorption im ganzen Tage gleichmäßig gesteigert ist, die mittlere Tageskurve gewissermaßen in ein höheres Niveau verschoben ist, tritt bei Herrschaft eines kontinentalen Hoch eine starke Dunstabsorption auf, die mit steigender Sonne deutlich den Einfluß vertikaler Konvektion erkennen läßt. Die Luft ist an solchen Tagen sehr stark inhomogen. Von den mittäglichen stark betonten Höchstwerten fällt die Kurve dann sehr stark ab zu relativ sehr kleinen Abendwerten. Ganz anders dagegen an typischen Föhn Tagen. Die absteigende Luftströmung hat vor Sonnenaufgang das Tal von allen Dunstmassen leergefegt, so daß die Tageskurve der Sonnenintensität mit anormal hohen Werten einsetzt, denen nur eine ganz geringe Dunstabsorption entspricht; selbst im Sommer können dann die Absorptionskoeffizienten auf fast 0 herabgehen. Im Laufe des Tages bleiben sie zunächst relativ niedrig. Das mittägliche Maximum ist meist auch nur unbedeutend, aber der absteigende Ast der Kurve der Absorptionskoeffizienten hält sich auf einer beträchtlichen Höhe. Und die Abendwerte übertreffen die der Koeffizienten kontinentalen Witterungscharakters bedeutend. Zuweilen steigen die Koeffizienten nachmittags stark an, um so schneller, je näher der Witterungsumschlag bevorsteht; aber Stunden vergehen, bevor der Himmel anfängt sich zu bedecken.

Süring*) hat seine am Südhang der Alpen angestellten Strahlungsbeobachtungen nach ähnlichen Gesichtspunkten zusammengefaßt und auf ihre Wetterabhängigkeit geprüft. Auch er findet, daß die Durchlässigkeit der Atmosphäre keineswegs proportional zum Wasserdampfgehalt geht — eine Feststellung, die auch von dem von Marten**) veröffentlichten Beobachtungsmaterial bestätigt wird — und urteilt, daß die Turbulenz der wesentliche Faktor für die Intensitätsverminderung der Sonnenstrahlung ist.

*) Süring. Meteorol. Zeitschr. 1924, S. 325.

**) Marten Veröffentl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 1914, Nr. 279.

Es ist offenbar, daß an den Tagen, die im Bereich einer Depression liegen, die gleichmäßig gesteigerte Absorption auf eine Trübung der oberen Schichten der Atmosphäre hindeutet, dagegen spielen für die Strahlungsschwächung an Tagen antizyklonaler Wetterlage orographische Verhältnisse eine große Rolle. Wenn die Ausbildung einer starken Turbulenz in ihnen begünstigt ist, lokal lagernde Dunstmassen aufgewühlt oder mit Talwind herangeführt werden, dann ist eine starke Dunstabsorption in den unteren Schichten der Atmosphäre zu erwarten. Wenn aber die Turbulenz dieser Schichten nur gering ist — sei es, daß wie in Borkum die sie bedingende feste Unterlage fehlt, oder daß bei Föhn intensiv absteigende Luftströmungen sie nicht aufkommen lassen —, dann sinken die Absorptionskoeffizienten und ihre Tagesschwankung auf ein Minimum herab. Süring erklärt die an Föhntagen in Agra im Frühjahr und Sommer beobachtete nachmittägliche Strahlungsdepression durch eine Vermischung talaufwärtswehender Winde mit Föhnwinden. Mir scheint, daß am Nordabhang der Alpen die Turbulenz der unteren Luftschichten sehr wohl die Strahlungsminde rung an Tagen mit kontinentalen Winden erklärt, da mit dem Nachlassen jener auch die Absorption schnell abnimmt. An den Föhntagen aber ist in den hohen Werten der nachmittäglichen Absorptionskoeffizienten des Dunstes bereits der Übergang zu einer anderen Wetterlage erkennbar. Mit zunehmender Luftmasse nachmittags stark herabgehende Absorptionskoeffizienten lassen sich prognostisch immer auf Fortbestand des schönen Wetters deuten, während eine nur langsame Abnahme oder gar Zunahme einen Witterungsumschlag bevorstehend anzeigt.

Riezlern im Algäu, Physik-meteorol. Station, April 1925.

Berichte und Referate.

Neuere Untersuchungen über Gezeiten und ähnliche Meeresbewegungen.

Von B. Gutenberg.

Bei der theoretischen Untersuchung der Gezeiten wurde früher meist angenommen, daß das Wasserbecken, in dem die Gezeiten betrachtet werden, einen Kanal darstellt, der eventuell mit einem Weltmeer in Verbindung steht. Es treten dann Längs- und Querschwingungen auf, die sich überlagern. Beide setzen sich zusammen aus den Mitschwingungsgezeiten des Kanals mit den Gezeiten vor der Mündung, den Eigengezeiten des Kanals, sowie den Schwingungen infolge der Erdrotation. Die Superposition all dieser Schwingungen ergeben die beobachteten Gezeiten. Dabei tritt oft eine Erscheinung auf, die man als „Amphidromie“ bezeichnet. Verbindet man die Punkte gleicher Flutzeit, so rotieren die hierbei entstehenden „Flutstundenlinien“ um einen Punkt, ähnlich wie die Speichen eines Rades. Mit Recht warnte H. Thorade¹⁾, der sich auch sonst viel mit den Amphidromien theoretisch beschäftigt hat²⁾³⁾, vor einer Überschätzung dieser Erscheinung, denn vielfach haben die Flutstundenlinien keine besondere Bedeutung, und oftmals fallen sie nicht mit dem Wellenkamm zusammen. Es kann