

## Werk

**Jahr:** 1929

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:5

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0005

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0005](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0005)

**LOG Id:** LOG\_0085

**LOG Titel:** Der Stand des meteorologischen Strahlungsproblems

**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](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Der Stand des meteorologischen Strahlungsproblems.

Von E. Alt, Dresden. — (Mit einer Abbildung.)

Innig verbunden mit dem Strahlungsproblem ist die Frage des Wärmehaushaltes unserer Erde und ihrer Atmosphäre. Obwohl zur Lösung dieser Frage bisher nur tastende Versuche vorliegen, ist es doch angebracht, deren Ergebnisse voranzustellen, da sie uns deutlich den Umfang, die Vielseitigkeit und die Bedeutung des Strahlungsproblems vor Augen führen.

Im Verlaufe von 24 Stunden strahlt die Sonne jedem Quadratcentimeter der Erdoberfläche rund 720 gcal zu, wenn wir vorerst von der Existenz der Atmosphäre absehen und die Solarkonstante zu 2 gcal/min cm<sup>2</sup> ansetzen. Auf dem Wege durch die Atmosphäre wird dieser primäre Strahlungsstrom durch die Vorgänge der Absorption, der diffusen und geordneten Reflexion beeinflusst. Nehmen wir 7.2 gcal als Maßeinheit an und drücken wir die Intensitäten aller noch weiter auftretenden Ströme in diesem Maße aus, so beträgt die solare Wärmezufuhr an der äußersten Grenze unserer Atmosphäre 100. Durch Absorption gehen 14 Einheiten in die Atmosphäre ein, wo sie zum geringen Teile in chemische, hauptsächlich aber in kalorische Energie verwandelt werden. 24 Einheiten gehen nach geordneter Reflexion an Wolken und größeren Teilchen in den interplanetarischen Raum zurück und 39 Einheiten werden durch diffuse Reflexion an Gasmolekülen und kleinsten Teilchen von der direkten Strahlungsrichtung abgelenkt und in der Atmosphäre zerstreut. Von dieser diffus zerstreuten Strahlung gehen 19 Einheiten in den interplanetarischen Raum zurück, 20 Einheiten gelangen zur Erdoberfläche.

Durch geordnete und diffuse Reflexion werden also 24 + 19, das sind 43 Einheiten der primären Zustrahlung zurückgegeben, weshalb man von einer Energiealbedo der Erde von 0.43 spricht.

Derselbe Betrag von 43 Einheiten, und zwar 23 Einheiten direkter und 20 Einheiten diffus zerstreuter Strahlung gelangen zur Erdoberfläche.

Von der Erdoberfläche, die wir in erster Annäherung als eine schwarz strahlende Fläche von der mittleren Temperatur 288° abs. annehmen dürfen, geht eine dunkle Wärmestrahlung in der Richtung nach dem interplanetarischen Raum aus, dessen Temperatur zu 0° abs. angenommen werden soll. Nach dem Stefanschen Gesetze berechnet sich die Intensität dieses Stromes zu 115 der angenommenen Einheiten.

Da aber diese langwellige Wärmestrahlung, deren Intensitätsmaximum etwa bei 9000 bis 10000  $\mu\mu$  liegt, von der Atmosphäre, und zwar hauptsächlich von Wasserdampf und Kohlensäure sehr kräftig absorbiert wird, so gelangt nur ein verhältnismäßig geringer Teil derselben, etwa 11 Einheiten, in den interplanetarischen Raum, der Hauptteil von 104 Einheiten wird von der Atmosphäre in kalorische Energie umgewandelt.

Außer dieser Zufuhr kalorischer Energie erhält die Atmosphäre durch thermodynamische Vorgänge, welche mit Kondensationserscheinungen verbunden sind, noch Wärmeenergie im Betrage von 16 Einheiten zugeführt. Dieser Betrag wird an der Erdoberfläche durch Verdunstung von Wasser verbraucht und kommt bei der Kondensation durch Freiwerden der latenten Verdampfungswärme der Atmosphäre zugute.

Die irdische Atmosphäre erhält also durch Absorption der direkten Sonnenstrahlung 14, durch Absorption der dunklen Erdstrahlung 104, durch die Zufuhr latenter Verdampfungswärme 16, das sind insgesamt 134 Einheiten. Derselbe Betrag muß von ihr unter der Bedingung einer vollkommenen Energiebilanz wieder abgegeben werden, und zwar durch Ströme dunkler Wärmestrahlung gegen die Erdoberfläche und gegen den interplanetarischen Raum. Setzen wir die Intensität

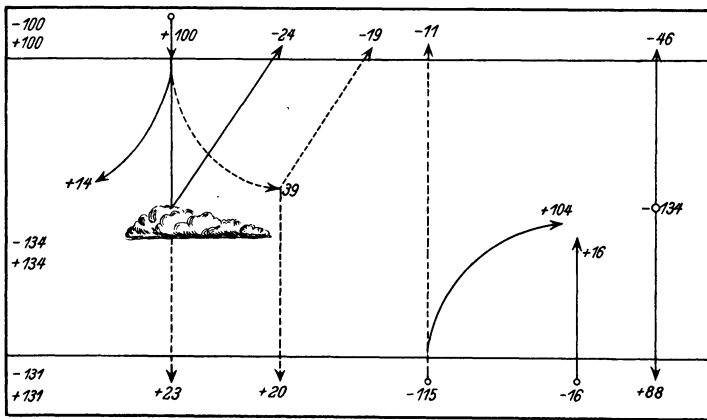


Fig. 1.

des gegen die Erde gerichteten Stromes auf 88 Einheiten, des gegen den freien Raum gerichteten Stromes auf 46 Einheiten fest, so ist die eben gestellte Forderung einer vollkommenen Bilanz für das gesamte System Erde–Atmosphäre erfüllt.

Die primäre Zufuhr von 100 Einheiten an der äußersten Grenze der Atmosphäre wird kompensiert durch kurz- und langwellige Strahlung gegen den interplanetarischen Raum von gleichem Betrage.

Die Atmosphäre nimmt durch Absorption und Zufuhr latenter Verdampfungswärme 134 Einheiten auf, die sie in Form langwelliger Wärmestrahlung wieder abgibt.

Die Erdoberfläche erhält 23 Einheiten durch direkte, 20 Einheiten durch diffus zerstreute Sonnenstrahlung, 88 Einheiten durch dunkle Gegenstrahlung der Atmosphäre, das sind insgesamt 131 Einheiten. Sie gibt ab an dunkler Strahlung 115 Einheiten, an Energie zur Verdunstung von Wasser 16 Einheiten, also wiederum 131 Einheiten.

Diese schematische Darstellung des Energiehaushalts unserer Erde und ihrer Atmosphäre, die natürlich nur auf die Erde als Ganzes bezogen im Durchschnitt langer Zeiträume gültig ist, gibt uns Auskunft über die Existenz, die allgemeine Richtung und die ungefähre Größenordnung der Strahlungsströme.

Die Lösung des Strahlungsproblems verlangt aber viel weiter reichende Leistungen. Vom Standpunkte der Klimatologie ist zu fordern die Darstellung der geographischen Verteilung der Intensitäten der einzelnen Strahlungsströme über die Erdoberfläche unter Berücksichtigung der zeitlichen Variationen. Die physikalische Meteorologie hat die Begründung der örtlichen und zeitlichen Schwankungen der Strahlungsströme beizubringen und die praktische Witterungskunde ist an den Korrelationen zwischen der quantitativen und qualitativen Beschaffenheit der Strahlungsströme und den mannigfachen Witterungszuständen interessiert.

Es muß zugegeben werden, daß bis heute nur Ansätze zur Lösung der aufgeworfenen Fragen vorliegen. Vor allem fehlt ein über die ganze Erde nach gesunden Gesichtspunkten systematisch verteiltes Beobachtungsnetz von Stationen die sich nicht nur mit der gelegentlichen Beobachtung des einen oder anderen Strahlungsstromes, sondern mit der Messung der Gesamtheit der Strahlungsströme beschäftigen. Außerdem vermischen wir die Einheitlichkeit der Meßgeräte oder doch die Möglichkeit der strengen Vergleichbarkeit der mit den verschiedenen Instrumenten gewonnenen Messungsergebnisse. Es muß hier daran erinnert werden, daß wir uns bei der Festsetzung der quantitativen Strahlungsenergie nicht mit ungefähren Werten begnügen dürfen. Das Studium des Wärmehaushalts unserer Erde und ihrer Atmosphäre bringt die Summierung vieler einzelner Daten mit sich, also auch im ungünstigen Falle die Summierung systematischer einseitiger Fehler, wodurch das Endergebnis ganz wesentlich gefälscht erscheinen kann.

Man erkennt aus diesen kurzen Andeutungen, daß Fortschritte in unserer Einsicht in das Strahlungsproblem gebunden sind an Fortschritte in der Beobachtungs- und Instrumententechnik.

Zur Frage der Instrumententechnik mögen folgende allgemeinen Bemerkungen Raum finden. In jeder Strahlung haben wir einen Energiestrom vor uns, dessen Intensität wir messen durch den Energiebetrag, der in einer festgesetzten Zeiteinheit durch eine festgesetzte Querschnittseinheit hindurchgeht. Die Energie wird zumeist in Grammkalorien gemessen, als Zeiteinheit wird die Minute, als Querschnittseinheit das Quadratcentimeter gewählt. Die Energie eines Strahlungsstromes kann nur gemessen werden an den Wirkungen der Strahlung auf materielle Körper. Diese Wirkungen sind teils chemischer, teils physiologischer, teils physikalischer Natur. An dieser Stelle sollen nur die physikalischen Methoden der Strahlungsmessung berücksichtigt werden, die entweder auf der mechanischen, der elektrischen oder der kalorischen Wirkung der Strahlung beruhen.

Die mechanische Wirkung der Strahlung äußert sich im Strahlungsdruck, der z. B. im Nicholschen Radiometer für Meßzwecke ausgenutzt wird. Für die Praxis meteorologischer Beobachtungen kommt diese Methode nicht in Frage.

Die elektrischen Wirkungen beziehen sich auf den lichtelektrischen Effekt, der im Elster-Geitel'schen Zinkkugelphotometer und in den lichtelektrischen Zellen verschiedener Konstruktion für Meßzwecke Verwendung findet.

Weitaus am häufigsten nutzt man aber die kalorische Wirkung der Strahlung auf materielle Körper bei der quantitativen Festlegung der Strahlungsintensität aus. Das ist in dem Umstand begründet, daß wir mit einer für die Praxis genügenden Annäherung den schwarzen Körper herzustellen vermögen, der die gesamte auf ihn treffende Strahlungsenergie, gleichviel welcher Wellenlänge, in kalorische Energie umwandelt. Man hat dann nur noch ein geeignetes Temperaturmeßverfahren anzuwenden, um die Wirkung der Wärmezufuhr auf den schwarzen Körper genau festzustellen. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, daß der schwarze Körper seine Temperatur nicht nur durch Energiezufuhr, sondern auch zugleich durch Ausstrahlung ändert. Diese Ausstrahlung ist eine Funktion der Temperatur des schwarzen Körpers und der Temperatur der Umgebung. Dieser Umstand wird nicht immer gebührend beachtet, am besten ist er noch beim Ångströmschen Kompensations-Pyrheliometer berücksichtigt.

Besäßen wir eine lichtelektrische Zelle, deren Elektronenemission für einen bestimmten zugestrahlten Energiebetrag, gleichviel welcher Wellenlänge, immer dieselbe bliebe, so wäre die lichtelektrische Meßmethode der kalorischen vorzuziehen, da wir keinen sekundären Effekt der Zelle kennen, der die Elektronenemission beeinflusst.

In Wirklichkeit reagiert aber die lichtelektrische Zelle stark selektiv, ihr Effekt ist auch bei Kaliumfüllung im Rot meist schon sehr schwach und verschwindet im Infrarot vollständig. Deshalb muß man, solange es sich um die Energiemessung breit gefächerter Strahlung handelt, immer wieder die kalorische Wirkung ausnutzen.

Verhältnismäßig einfach liegen die Strahlungsverhältnisse bei Nacht, wo wir es nur mit der von der Erdoberfläche ausgehenden und der von der Atmosphäre emittierten dunklen Wärmestrahlung zu tun haben. Besitzt das Meßgerät die Temperatur der Erdoberfläche, so strahlt es wie diese aus und empfängt auch, wie diese, die Gegenstrahlung der Atmosphäre. Die aus diesen Vorgängen resultierende effektive Strahlung wird mit dem Instrumentarium gemessen. Da die Ausstrahlung des Instrumentes aus der Temperatur des schwarzen Körpers errechnet werden kann, ist es auch möglich, die Gegenstrahlung der Atmosphäre abzuleiten aus der Gleichung: Gegenstrahlung der Atmosphäre = Erdstrahlung (Instrumentenstrahlung) — effektive Strahlung.

Das für die Messung der Effektivstrahlung am häufigsten benutzte Instrument ist das Pyrgeometer von Ångström. Bei seiner Handhabung muß aber vorsichtig zu Werke gegangen werden, insbesondere bei großem Feuchtigkeitsgehalt der Luft, bei welchem sich die Folien leicht mit einer Wasserhaut über-

ziehen. Durch eine intermittierend arbeitende Heizvorrichtung kann der Gefahr einer Falschmessung vorgebeugt werden, doch scheinen nach neueren Erfahrungen Falkenbergs auch dann noch erhebliche Falschmessungen möglich. Falkenberg setzt eine hochempfindliche Thermosäule in eine schwarze Mulde und regelt die Temperatur der Mulde und der Säule so, daß die effektive Strahlung des Instrumentes Null wird. Dann ist die Gegenstrahlung der Atmosphäre gleich der Ausstrahlung des Meßgerätes; die Thermosäule gibt die Strahlungs-Äquivalent-Temperatur des Himmelsausschnitts an, gegen den die Öffnung der Apparatur gerichtet ist. Der ebenfalls von Ångström angegebene Tulipan kommt für exakte Messungen wohl kaum in Frage. Über die bisher aufgefundenen allgemeinen Ergebnisse der Untersuchungen der nächtlichen Strahlung kann an dieser Stelle nicht berichtet werden.

Viel verwickelter gestalten sich die Vorgänge am Tage, auch wenn wir die direkte Sonnenstrahlung ausschalten. Die mit einem geeigneten Instrument zu messende Effektivstrahlung ist dann gleich der Instrumentenausstrahlung minus (langwellige plus kurzwellige) Himmelsstrahlung. Das Pyranometer von Ångström kann nicht allen Ansprüchen auf Exaktheit entsprechen. Unkontrollierbare Störungen treten durch die halbkugelförmige Glashaube auf, sowie durch die Unsicherheit der Absorptions- und Emissionsvorgänge in den schwarzen und weißen Folien. Gleiche Bedenken liegen vor gegen das Callendar-Pyrheliometer, gegen das Aktinometer nach Robitzsch und gegen das Solariometer von Gorczynski. Erheblich bessere Ergebnisse sind von der Verwendung des Albrechtschen Effektivpyranometers und der Falkenbergschen Apparatur zu erwarten, doch müssen erst weitere Mitteilungen hierüber abgewartet werden. Natürlich kann auch jedes hinreichend empfindliche Aktinometer für die Messung der Strahlung des Tageshimmels Verwendung finden, freilich immer nur des Himmelsausschnitts, gegen den das Instrument gerichtet ist. Die Integration über das gesamte Firmament bringt hier, wie auch beim Falkenbergschen Instrument, Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten herein.

Zur Messung der direkten Sonnenstrahlung wird heute vorzugsweise das Ångströmsche Kompensationspyrheliometer verwendet, das wie das Waterflow- und Water-stir-Instrument als Absolutmeßgerät angesehen werden kann. Als Relativapparate sind zu nennen das Silberdisk- und das Michelson-Aktinometer. Auch das von Hartmann u. Braun hergestellte Universalaktinometer nach Linke und das Heizbandaktinometer nach Albrecht sind Absolutinstrumente, die aber nicht die Verbreitung der oben genannten Apparate gefunden haben. Bolometer und lichtelektrische Zelle eignen sich für die Messung kleiner Spektralintervalle.

Die von der Sonne ausgehende Strahlung ist komplexer Natur, sie besteht aus der Strahlung der Photosphäre und der Chromosphäre. Nach Defant wirkt die Chromosphäre auf die von der Photosphäre ausgehende Strahlung vorwiegend zerstreugend, nur in sehr geringem Maße absorbierend. Die Anwendung des Rayleighschen Gesetzes auf die Zerstreung der Photosphären-

strahlung in der Chromosphäre erklärt nicht nur die von Abbot beobachtete Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe, sondern ergibt auch ein extraterrestrisches Sonnenspektrum, das — ausgenommen das kurzwellige Ende — nahezu kongruent ist mit dem von Abbot mit bolometrisch-pyrheliometrischen Messungen gewonnenen Energiespektrum der Sonne. Das läßt mit anderen astrophysikalischen Beobachtungen darauf schließen, daß eine merkliche Extinktion der Sonnenstrahlung im interplanetarischen Raume nicht stattfindet.

Auf dem Wege durch die irdische Atmosphäre wird die Sonnenstrahlung geschwächt durch die Vorgänge der selektiven Absorption, der diffusen Reflexion und vielleicht auch durch Arbeitsleistung des Strahlendruckes.

An der selektiven Absorption sind vor allem beteiligt im kurzwelligen Teile des Spektrums das Ozon (210 bis 290  $\mu\mu$ ), im sichtbaren Spektralgebiet Sauerstoff und Stickstoff (535 bis 650  $\mu\mu$ ) und im langwelligen Teile Ozon, Kohlensäure und Wasserdampf. Auch trockene und feuchte Suspensionen in der Atmosphäre zeigen einen selektiven Absorptionseffekt, der aber noch wenig untersucht ist.

Besonderes Interesse nehmen die Vorgänge am kurzwelligen Ende des Spektrums in Anspruch. Nach Lenard wirken Strahlen unter 200  $\mu\mu$  kräftig ozonisierend, besitzen aber nur geringes Durchdringungsvermögen in Luft. Sie bewirken in den Höhenschichten, bis zu denen Sauerstoff noch vordringt, die Bildung von Ozon, dessen Konzentration aber nur eine beschränkte sein kann, da die Strahlen von 210 bis 290  $\mu\mu$  wieder desozonisierend wirken. Nach der heutigen Auffassung ist der jähe Abbruch des kurzwelligen Spektrums der Sonne der Ozonabsorption zuzuschreiben. Die Frage, ob nicht unter 210  $\mu\mu$ , wo Ozon nur mehr sehr geringe Absorptionsfähigkeit besitzt, wieder Zufuhr von Sonnenenergie stattfindet, muß verneint werden. Edgar Meyer weist nach, daß die in dieser Gegend ankommende Energie nur mehr den 12. Teil der Energiestrahlung von 290  $\mu\mu$  ausmachen könnte, also verschwindend klein sein muß, wenn sie überhaupt vorhanden ist.

Die Absorption durch Sauerstoff, Stickstoff, Wasserdampf und Kohlensäure ist in den höheren Schichten der Atmosphäre aus naheliegenden Gründen nur gering, ihr Effekt wird weit übertroffen durch die Wirkung der diffusen Reflexion. Dieser Vorgang, dessen mathematische Behandlung sehr schwierig ist, erfolgt nach dem bekannten Rayleighschen Gesetze, solange diffundierende Teilchen von molekularer Größe in Frage kommen. Teilchen, welche nicht mehr von molekularer Größenordnung, aber immer noch klein gegen die Wellenlänge des Lichtes sind, zerstreuen umgekehrt proportional einer niedrigeren ( $< 4$ ) Potenz der Wellenlänge. An Teilchen über 180  $\mu\mu$  Durchmesser tritt geordnete Reflexion ein.

Wie weit eine Schwächung der Sonnenstrahlung durch Arbeitsleistung des Strahlendruckes in Frage kommt, müssen weitere Untersuchungen entscheiden.

Der Wert der Solarkonstanten wird heute zumeist mit 1.93 angegeben. Man darf aber nicht vergessen, daß dieser Wert durch ein Extrapolations-

verfahren gewonnen ist, das bestimmte Voraussetzungen über die Konstitution der höchsten Atmosphärenschichten enthält. Unsere Kenntnisse über diese Schichten ruhen aber auf sehr unsicherer Grundlage — man vergleiche das Wegenersche Profil mit dem von Vegard entworfenen —, so daß Zweifel an der Zulässigkeit der Extrapolation wohl berechtigt sind. Hier kollidiert das Strahlenproblem mit anderen geophysikalischen Problemen, wie der Schallausbreitung, der Ausbreitung elektrischer Wellen (Heaviside) und der Polarlichterscheinungen. Aus den gleichen Gründen ist auch die Frage heute noch nicht zu entscheiden, ob die Solarkonstante wirklich eine Konstante ist oder ob die verschiedentlich nachgewiesenen Schwankungen reell, das heißt solaren Ursprungs sind. Wenn schon Diskontinuitäten in den höchsten Atmosphärenschichten angenommen werden müssen, so müssen wir denselben auch die Fähigkeit der Beeinflussung des solaren Strahlungsstromes zubilligen.

---

### Der gegenwärtige Stand der meteorologischen Korrelationsforschung\*).

Von **Franz Baur**, Frankfurt a. M. — (Mit zwei Abbildungen.)

Da zu einer Anwendung der Korrelationsrechnung auf die Erscheinungen des täglichen Wetters und damit zusammenhängende Probleme erst die ersten Ansätze gemacht sind, wurde der Bericht auf diejenigen Untersuchungen beschränkt, die in der Regel gemeint sind, wenn von meteorologischer Korrelationsforschung die Rede ist, auf die Untersuchung der Witterungserscheinungen im großen und ihrer Zusammenhänge.

Diese Untersuchungen gliedern sich in zwei, im allgemeinen allerdings nicht scharf voneinander zu trennende Gruppen:

1. Untersuchungen über die Zusammenhänge von Witterungsanomalien mit gleichzeitigen Witterungsanomalien in anderen Gebieten und
2. Untersuchungen über die Zusammenhänge von Witterungsanomalien mit zeitlich vorausgehenden oder nachfolgenden des gleichen Ortes oder auch anderer Orte.

Die umfassendsten Untersuchungen der ersten Art stammen von G. T. Walker. Nach ihm haben wir auf der ganzen Erde drei Schwankungssysteme des Luftdrucks:

1. die nordatlantische Schwankung, gekennzeichnet durch die negative Korrelation zwischen dem Luftdruck auf den Azoren und dem gleichzeitigen Luftdruck über Island,

---

\*) Der vollständige Bericht mit ausführlichen Literaturnachweisen erscheint in der Meteorol. Zeitschrift.