

DIE WISSENSCHAFT

Sammlung von Einzeldarstellungen aus den Gebieten der
Naturwissenschaft und der Technik

Herausgegeben von Prof. Dr. EILHARD WIEDEMANN

BAND 63

Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung

Von

Prof. Dr. C. Dorno

Davos

Mit 16 Figuren im Text und auf Tafeln



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung

Von

Prof. Dr. C. Dorno
Davos

Mit 16 Figuren im Text und auf Tafeln



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

ISBN 978-3-663-00910-8 ISBN 978-3-663-02823-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-02823-9

Alle Rechte vorbehalten.

Copyright, 1919, by Springer Fachmedien Wiesbaden
Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Germany 1919
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1919

Vorwort.

Wohlbekannt — mehr aus Gefühls- als aus Verstandesgründen — war schon den primitivsten Menschen, daß alles Leben auf der Erde von den Sonnenstrahlen geweckt, durch sie alle Lebensvorbedingungen für den Menschen geschaffen werden, und der Sonnenkultus war daher bei den Naturvölkern wohl die erste und weitverbreitetste Religion. Wohlbekannt ist dem gebildeten Laien der Gegenwart, auf welche Weise die Sonnenstrahlung das organische Leben der Erde erhält, der große Kreislauf, welchen die Sonnenstrahlung und die von ihr ausgelöste Himmelsstrahlung einleitet und dauernd unterhält, indem sie die Pflanzen befähigt, im Assimilationsprozeß Kohlensäure aus der Luft aufzunehmen zu eigener Nahrung und Wachstum, dadurch Nahrung schaffend für die Tiere und indirekt durch diese sowie direkt für den Menschen, ihm gleichzeitig Kleidung, Erwärmung und Ausstattung mit aller zum sogenannten Kulturleben nötigen Energie liefernd, während andererseits der Zerfall aller organischen Substanz zur Kohlensäure zurückführt, welche den Pflanzen neue Nahrung und neue Lebensbedingungen schafft. Recht wenig bekannt ist trotz dieser Erkenntnis der grundlegenden Bedeutung der Sonnenstrahlung für alles irdische Leben ihre qualitative und quantitative Größe, ihr Verhältnis zu der von ihr erzeugten Himmelsstrahlung, der Umfang und die Ursache der Schwankungen beider Strahlungsgrößen im Tages- und Jahreslauf, von Ort zu Ort, in Abhängigkeit von Bewölkung und anderen meteorologischen Faktoren, von mannigfachen periodischen und aperiodischen Wechsell. Nur durch unser modernes Kulturleben, welches in relativ weiten Grenzen

unabhängig macht von den unmittelbaren Einflüssen dieser Naturkräfte, uns durch künstliche Beleuchtung gestattet, die Nacht zum Tage zu machen, durch die gewaltig entwickelten Transportmittel einen Ausgleich schafft zwischen Ländern mit Überfluß und Mangel an menschlicher Nahrung — nur durch dieses moderne Kulturleben erklärt es sich, daß die allgemeine Erkenntnis des physikalischen Charakters der natürlichen Strahlungsquellen und seiner verschiedenen Betätigung unter wechselnden Verhältnissen nicht Schritt gehalten hat mit der ihrer großen biologischen Funktion, daß das Interesse für diese Kenntnis mühsam geweckt werden muß nicht nur beim Laien, sondern selbst beim Mediziner, Botaniker, Biologen im allgemeinen. Nicht selten sieht man bei diesen einer peinlichen Abstimmung von Intensität und spektralen Zusammensetzung künstlicher Lichtquellen die ganz vagen Begriffe „Sonnenlicht“ oder „Diffuses Tageslicht“ gegenübergestellt, allenfalls hinzugesetzt „bei hoher“ oder bei „niedriger Sonne“; häufig sieht man Experimente bewundernswerter Feinheit angesetzt, welche von vornherein zum Mißlingen verurteilt zu sein scheinen oder deren erstaunlich verschiedene Resultate mit größter Wahrscheinlichkeit eine Erklärung finden, weil sie dem Hunderte von Prozent betragenden quantitativen und qualitativen Wechsel der angewandten natürlichen Strahlungsgrößen nicht Rechnung tragen. Erscheint es nicht auch als ein gewisser Widerspruch, wenn zur Bewertung der Verteilung der Helligkeit innerhalb Schul- und Fabrikräumen die gewissenhaftesten Messungen durchgeführt, wohl auch die Flächen der lichtzuführenden Fenster bestimmt werden, die Messung der durch eben diese Fenster eintretenden Helligkeit aber unterlassen wird? Legen die Wunden, die der grausame Krieg direkt oder indirekt geschlagen hat, nicht die Pflicht auf, die natürlichste aller Heilkräfte, die Sonnenstrahlung, systematischer als bisher anzuwenden mit ihrer

Gesamtwirkung und der spezifischen ihrer einzelnen Spektralteile, systematisch auch hinsichtlich der Kombination mit den anderen Stärkungsfaktoren, welche die Freiluftkur bietet? Auf die Strahlungskonstanten des Beobachtungsortes zu achten, solche zu schaffen, wo sie noch nicht festgelegt sind, wenigstens Schätzungswerte zu gründen auf schon vorhandene Messungsergebnisse, kurz, den Errungenschaften der Forschung der Physik und der meteorologischen Optik gebührend Rechnung zu tragen, ist ernste Pflicht der Biologie, insbesondere der Medizin, und gutes Recht jedes gebildeten Laien. Hat ihm doch die rauhe Kriegszeit durch die Entbehrung an Nahrung und Kleidung, an Licht- und Kraftkonsum, mit ihrer gesetzlichen Einführung der Sommerzeit grausam deutlich vor Augen geführt, daß jedermann täglich und stündlich von der von Sonne und Himmel kommenden Strahlung abhängt, und daß sein ganzes Leben allein schon von den Beleuchtungsgrößen geregelt wird.

Niemand dürfte es bereuen, ein wenig Zeit und Mühe auf das Studium der Hauptprobleme der meteorologischen Optik verwandt zu haben, denn mit Staunen wird er bei näherem Zusehen erkennen, wie vielseitig die Probleme sind und welche gewaltigen Perspektiven sie eröffnen. Nachdem seit Jahrhunderten die hervorragendsten Vertreter der Physik sich mit ihnen beschäftigt haben, haben doch erst die letzten Jahrzehnte entscheidende Einblicke und Erkenntnisse gebracht dank der bewundernswerten Fortschritte der Physik auf dem Gebiete der Strahlung und dank der Schöpfung eines scharfsinnig erdachten und technisch-künstlerisch ausgeführten Instrumentariums. Bedarf es auch noch einer langperiodischen und die ganze Erde umfassenden Beobachtungsarbeit, so sind die bisher gewonnenen Resultate doch schon reich genug, um zur allgemeinen Kenntnis gebracht zu werden, und diese wird, wie zu hoffen ist, dazu beitragen, die Bedeutung des Problems

nicht nur für die spezifische Wissenschaft, sondern für die gesamte Menschheit richtig zu würdigen, und daher die Ausdehnung von wissenschaftlich exakten Messungen fördern. Nur solche — das sei schon hier betont — können von Grund aus nützen. Sie sind mühsam, erfordern ein physikalisch, theoretisch und praktisch durchgebildetes, arbeitsfreudiges Beobachtungspersonal und ein teilweise recht teures Instrumentarium. Sie haben gewissermaßen ihren Todfeind in den unzähligen, auf willkürlichen, ungenügend definierten Massen beruhenden, meist sehr oberflächlichen, in ihrer Genauigkeit häufig weit überschätzten Meßmethoden, welchen andererseits in keiner Weise das gebührende Recht abgesprochen werden soll, wofern ihre Werte nur als allgemein orientierende Werte angesehen werden oder zu solchen — übrigens recht zahlreich vorhandenen — Zwecken verwandt werden, bei welchen ihre Meßgenauigkeit ausreicht. Vgl. hierzu Seite 55 und Seite 99.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	V—VIII
Einleitung	1
Die Erdatmosphäre	2— 5
Die Sonnenstrahlung	5— 64
Einleitung (Transmissionskoeffizient)	5— 7
Die Sonnenstrahlung, spektralanalytisch betrachtet	7— 24
Die Sonnenstrahlung, nach ihren Hauptwirkungen betrachtet	24— 63
Wärmestrahlung	26— 37
Helligkeitsstrahlung	37— 55
Programm für Strahlungsmessungen	55— 57
Ultraviolette Strahlung	57— 63
Autographen für die Sonnenscheindauer	63— 64
Die Himmelsstrahlung	64—121
Das mathematische Problem der Ableitung von Himmels- helligkeit und Himmelsfarbe aus der extraterrestrischen Sonnenstrahlung und den Gesetzen der atmo- sphärischen Zerstreuung	64— 67
Die Polarisation des Himmelslichtes	67— 82
Wärmestrahlung	82— 97
während der Nacht	82— 88
während des Tages	88— 95
gesamte	95— 97
Helligkeitsstrahlung	97—117
gesamte	97—103
chemisch wirksame	103—110
Vorderlicht und Unterlicht	110—112
Verteilung von Helligkeit und Farbe über den Himmel	112—117
Ultraviolette Strahlung	117—120
Änderungen der extraterrestrischen Strahlung und der Durchlässigkeit der Erdatmosphäre	121—124
Nachschrift	124—126

Figurenverzeichnis.

	Seite
Figur 1	3
„ 2	6
„ 3	12
„ 4	13
„ 5	16
„ 6	32
„ 7	48
„ 8	52
„ 9	67
„ 10	68
„ 11	71
„ 12	72
„ 13 } farbige Tafeln {	73
„ 14 }	78
„ 15 }	78
„ 16	101

Einleitung.

Das Problem, welches wir behandeln wollen, ist — wie schon das Thema sagt — ein zweigliedriges, denn zwischen dem Ausgang der Strahlung, der Sonne, und dem Empfänger an der Erdoberfläche lagert die Atmosphäre; diese modifiziert die durchfallende Strahlung mannigfach, indem sie selbst gleichzeitig zu einer Strahlungsquelle, der Himmelsstrahlung, wird. Es gilt also, die Sonnenstrahlung zu bestimmen, welche in die Atmosphäre eintritt, d. h. „die extraterrestrische Sonnenstrahlung“, und die Veränderung, welche sie beim Passieren der Atmosphäre erfährt, zu welchem Zweck die Ausdehnung und Zusammensetzung der Atmosphäre und ihre gesetzmäßige Wirkungsweise auf die sie durchsetzende Strahlung festgestellt werden müssen. Es ist so gleich klar, daß Änderungen, sei es der extraterrestrischen Sonnenstrahlung oder des von ihr passierten Mediums, an der Erdoberfläche stets in einer Änderung sowohl der direkten Sonnenstrahlung wie auch der Himmelsstrahlung zum Ausdruck kommen müssen, daß sich also als weitere Aufgabe ergibt, aus tatsächlich durch die Beobachtung festgestellten Änderungen zurückzuschließen auf ihren Ursprungsort, Sonne oder Erdatmosphäre, und die wirksame Ursache — eine keineswegs stets leichte Aufgabe. Von derartigen Änderungen, sowie von solchen, die der Jahreslauf der Erde oder eine etwa den Weltenraum zwischen Sonne und Erde erfüllende Materie auslöst, soll am Schluß der Abhandlung kurz die Rede sein. Zunächst wollen wir die primäre Strahlungsquelle, die Sonne, und die die sekundäre Strahlungsquelle auslösende Atmosphäre als konstant annehmen, von rein meteorologischen Variationen abgesehen, und uns zuvörderst über die letztere Rechenschaft geben.

Die Erdatmosphäre.

Die Erdatmosphäre besteht bekanntlich aus mannigfachen Gasen, welche in den untersten Schichten infolge der daselbst dauernd vorhandenen vertikalen Luftströmungen stets in demselben Mengenverhältnis vorgefunden werden und im allgemeinen chemisch nicht aufeinander wirken. Die Analysen zeigen folgende Zusammensetzung der trockenen Luft am Boden:

Bestandteile	Dicke bezogen auf Luft	Volumprocente
Stickstoff	0,967	78,03
Sauerstoff	1,105	20,99
Argon	1,379	0,937
Kohlensäure	1,529	0,03
Wasserstoff	0,070	0,01
Neon	0,674	0,0123
Krypton	2,818	0,01
Helium	0,138	0,0004
Xenon	4,422	0,0011
Trockene Luft	1,000	100,00

Bereits an der Wolkengrenze, welche je nach der Jahreszeit und geographischer Lage in etwa 10 bis 12 km Höhe liegt, hören die vertikalen Luftströmungen auf, wir finden hier die obere Inversionsschicht, so genannt, weil von ihr aus die beim Aufsteigen von der Erde stetig bis zu etwa -55° gesunkene Temperatur wieder einen kleinen Anstieg zeigt, jedenfalls nicht noch weiter sinkt. Mangels Mischung ordnen sich oberhalb dieser Schicht die Gase nach ihrer Schwere an, und man kann aus der mittleren Molekulargeschwindigkeit der Gase und aus der Druckabnahme mit der Höhe die Schichtung in größeren Höhen berechnen. Das Berechnungsergebnis zeigt im einzelnen die nachfolgende Tabelle.

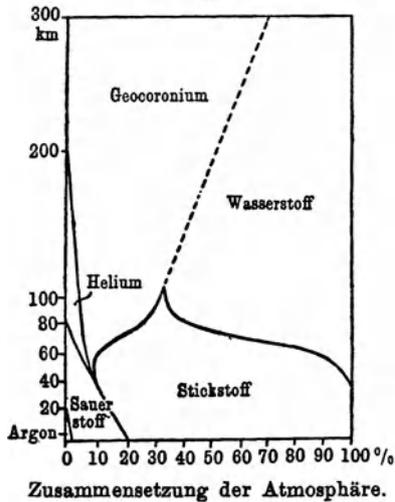
Das wesentliche derselben ist in beistehendem, prägnantem Bilde dargestellt; Alfred Wegener, welcher diese von Humphreys und Hann begonnenen Berechnungen konsequent durchgeführt hat, hat dasselbe in der Physikal. Zeitschr. 1911, S. 176, ge-

Zusammensetzung der Luft (in Volumprozenten).

Höhe km	Luftdruck mm	(Geo- coronium)	Wasser- stoff	Helium	Stick- stoff	Sauer- stoff	Argon
0	760	0,00058	0,0033	0,0005	78,1	20,9	0,937
20	41,7	0	0	0	85	15	0
40	1,92	0	1	0	88	10	—
60	0,106	5	12	1	77	6	—
80	0,0192	19	55	4	21	1	—
100	0,0128	29	67	4	1	0	—
120	0,0106	32	65	3	0	—	—
140	0,00900	36	62	2	—	—	—
200	0,00581	50	50	1	—	—	—
300	0,00329	71	29	—	—	—	—
400	0,00220	85	15	—	—	—	—
500	0,00162	93	7	—	—	—	—

zeichnet (Fig. 1). Die Grundlinie stellt die Erdoberfläche dar, die Höhe die verschiedenen in Kilometern angegebenen Höhen der Atmosphäre, die von unregelmäßigen Linien umzeichneten Flächen entsprechen den Anteilen, welche die in ihnen vermerkten Gase in den verschiedenen Atmosphärenhöhen haben. Bis zu etwa 10 km Höhe haben wir uns die Troposphäre vorzustellen, in welcher allein Wolken zu finden sind und sich alle die meteorologischen Vorgänge abspielen, welche wir unter den Begriff „das Wetter“ fassen; hier herrscht die oben angegebene Luftzusammensetzung. Der Troposphäre überlagert, durch die Inversionsschicht von ihr getrennt, ist in der Stratosphäre bis zu 75 km Höhe der Stickstoff weitaus vor-

Fig. 1.



herrschend. Oberhalb desselben findet man bis zu 180 km Höhe vorwiegend Wasserstoff und neben diesem, mit wachsender Höhe zunehmend, ein dem Coroniumgase der Sonne wohl identisches, sehr leichtes und daher zur Erdoberfläche nicht vordringendes Gas, das Geocoronium, welches noch in 500 km Höhe vorkommen muß. Diese Kenntnisse der höchsten Höhen unserer Atmosphäre beruhen keineswegs nur auf Berechnungen. Auf das Vorhandensein und die Höhe der Geocoroniumschicht schließt man aus den homogenen Bögen des Polarlichtes und der an ihm beobachteten, keinem bekannten Elemente zugeordneten grünen Spektrallinie; die Grenze zwischen Wasserstoff- und Geocoroniumschicht wird durch das Aufleuchten der in ihrem Spektrum die Wasserstofflinie zeigenden Sternschnuppen bewiesen; die wohl recht scharfe Grenze zwischen Wasserstoff- und Stickstoffatmosphäre dokumentiert sich am sichersten durch den Hauptdämmerungsbogen, auch ist nach gewaltigen Vulkanausbrüchen beobachtet, daß die sogenannten „leuchtenden Nachtwolken“ sich an ihr unverkennbar seitlich ausbreiteten. Tropo- und Stratosphäre scheiden sich, wie erwähnt, an der normalen Wolkengrenze.

Unter der Wirkung der ultravioletten Strahlung setzen sich die Gase der hohen Atmosphärenschichten teilweise zu Ozon, Wasserstoffsuperoxyd und Stickoxyden chemisch um, und diese Gase finden sich daher, von absteigenden Luftströmungen mitgeführt, auch in geringen Mengen in den niederen Atmosphärenschichten, in welchen neben den in konstantem Verhältnis verbleibenden, oben tabellarisch aufgezählten, permanenten Gasen der seiner Menge nach wechselnde, gesetzmäßig von Druck und Temperatur abhängige Wasserdampf eine ausschlaggebende Rolle spielt neben Staubmengen, welche von der Erdoberfläche durch Luftströmungen aufwärts geführt sind oder von Vulkanausbrüchen stammen.

Diese zahlreichen Gas- und Dampfarten und Fremdkörper wirken auf die zur Erdoberfläche vordringenden Sonnenstrahlen in zweifacher, voneinander grundverschiedener Weise, nämlich 1. durch selektive Absorption, 2. durch Extinktion. Durch die erstere geht die Strahlungsenergie als solche verloren und wandelt sich in andere (chemische oder thermische) Energieformen. Durch die letztere werden die Strahlen nur aus ihrer geradlinigen Richtung

abgelenkt und erreichen als diffuse Himmelsstrahlung auf Umwegen die Erde, von geringen Verlusten durch Rückstrahlung zum Weltraum abgesehen.

Die Sonnenstrahlung.

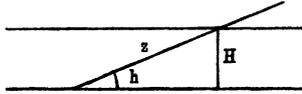
Verfolgen wir zunächst die (von der Refraktion abgesehen) geradlinig zur Erde gelangenden direkten Sonnenstrahlen: Für die Abnahme ihrer Intensität mit fortschreitendem Eindringen in die Atmosphäre gilt unter der Voraussetzung, die Atmosphäre sei ein homogenes Medium, die Bouguer-Lambertsche Hypothese, daß eine Schicht von der Dicke 1 immer einen ganz bestimmten Bruchteil des auffallenden Strahles auslöscht, und somit die Formel $dJ = -kJdx$, wenn J die Intensität des einfallenden Strahles, dJ ihre Schwächung auf der Wegstrecke dx , k eine von dem physikalischen Zustande der Atmosphäre abhängige Konstante ist. Integriert man von $x = 0$, wo die Intensität des einfallenden Strahles J_0 sei, bis $x = z$, wo sie J sei, so folgt: $J = J_0 e^{-kz}$ (e die Basis des natürlichen Logarithmensystems, z die durchlaufende Wegstrecke). Gewöhnlich setzt man zur Vereinfachung $e^{-k} = a$, und erhält so die viel angewandte Extinktionsformel $J = J_0 a^z$.

Wählen wir als Einheitsmaß der vom Strahle durchlaufenen Wegstrecke die Höhe der Atmosphäre in vertikaler Richtung, setzen also $z = 1$, so wird $J = J_0 a$ oder in Worten: a (der Transmissionskoeffizient) ist das Verhältnis des durchgelassenen zum einfallenden Licht $\frac{J}{J_0}$ bei senkrechter Inzidenz (Sonne im Zenit, Standort auf Meeresniveau). An erhöhtem Beobachtungsort ist das Verhältnis des festzustellenden Luftdruckes zu dem im Meeresniveau herrschenden (760 mm) als Exponent zu a in die Formel einzuführen. Mißt man, unveränderten atmosphärischen Zustand vorausgesetzt, bei zwei verschiedenen Sonnenhöhen und erhält demgemäß zwei Gleichungen, $J_1 = J_0 \cdot a^{z_1}$ und $J_2 = J_0 \cdot a^{z_2}$, so ergibt sich aus diesen durch Division und Logarithmierung der Wert des Transmissionskoeffizienten mit

$$\log a = \frac{\log J_2 - \log J_1}{z_2 - z_1}.$$

Die Beziehung zwischen Sonnenhöhe (h) und durchlaufener Wegstrecke (z) ergibt sich nach beistehender kleiner Skizze (Fig. 2) zu $z = \frac{H}{\sin h}$ (bzw. $\frac{1}{\sin h}$ bei Zugrundelegung der Höhenausdehnung der Atmosphäre als Einheit). Die Krümmung der Erde und die Krümmung der Lichtstrahlen infolge der Refraktion bedingen

Fig. 2.



durch Rechnung einzusetzende kleine Korrekturen von z . Die Wegstrecken der durchfallenden Strahlen nehmen also etwa umgekehrt proportional dem Sinus der Sonnenhöhe zu, also mit sinkender Sonne anfangs langsam, später aber sehr schnell, wie in nachfolgender kleiner Tabelle.

Sonnenhöhe	Wegstrecke	Sonnenhöhe	Wegstrecke
90 ⁰	1,000	10 ⁰	5,600
60	1,154	5	10,395
40	1,553	3	15,365
30	1,995	1	26,959
20	2,904	0	etwa 35,4

Theoretisch genügen also zwei bei verschiedenen Sonnenhöhen durchgeführte Messungen, um aus ihnen die Größe des Transmissionskoeffizienten und mit seiner Hilfe den Wert der extraterrestrischen Sonnenstrahlung festzustellen, sowie die Intensität der Sonnenstrahlung bei jeder beliebigen durchstrahlten Schichtdicke = Sonnenhöhe = Tageszeit, denn das ist ja doch der mit der Bestimmung des Transmissionskoeffizienten verfolgte Zweck. Infolge der häufig schnell auftretenden Wechsel des atmosphärischen Zustandes begnügt man sich in der Praxis nicht mit zwei Bestimmungen, sondern stellt eine größere Anzahl von Messungen an, ordnet in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die Logarithmen der gemessenen Intensitäten und die zugehörigen Wegstrecken einander zu und prüft, ob die so erhaltenen Punkte, der obigen Extinktionsformel entsprechend, auf einer geraden Linie

liegen — als Beweis der Konstanz der Verhältnisse während der meist über etliche Stunden sich erstreckenden Messungen.

Die oben gemachte Voraussetzung, die Atmosphäre sei ein homogenes Medium, trifft aber keineswegs zu, sie nimmt im Gegenteil von oben nach unten sehr an Dichte zu. Findet diese Zunahme gleichmäßig statt, ist die Atmosphäre also homogen geschichtet, so ändert das an der Deduktion von a und J_0 nichts, wie leicht erkennbar ist, wenn man sich die Atmosphäre durch konzentrische Kugelschalen in beliebig viele Schichten zerlegt denkt. Da in jeder einzelnen dieser Schichten die Dichte konstant bleibt, so macht es nichts aus, daß die Dichte sich von Schicht zu Schicht ändert, es entsprechen stets die von den Strahlen durchlaufenen Wegstrecken den auf diesen Wegen durchlaufenen Luftmengen. Eine sehr wichtige Einschränkung muß nun aber bei Anwendung von Bouguer-Lamberts Formel auf das Problem gemacht werden: Sie gilt nur für homogene Strahlung, nicht aber, wie im vorliegenden Falle, für filtrierte Strahlung, bei welcher die Strahlen größerer Durchdringungsfähigkeit mit zunehmender Schichtdicke das relative Übergewicht bekommen. Würde man die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung mit dem Einheitsmaß der Wärme durch die in einer Minute auf 1 cm^2 auffallende Wärmemenge in Grammkalorien messen, so würde man ohne Einsetzung von Korrekturen die Transmissionskoeffizienten stets zu groß, den Wert der extraterrestrischen Strahlung stets zu klein finden. Es bedarf also, streng genommen, der Intensitätsbestimmung einer jeden einzelnen Spektrallinie bei verschiedenen Sonnenhöhen und ihrer Extrapolation auf J_0 , ihrer extraterrestrischen Intensität, und hiermit sehen wir uns vor ein Problem gestellt, welches auf den ersten Blick unlösbar erscheint.

Die Sonnenstrahlung, spektralanalytisch betrachtet.

Um das Problem in seiner ganzen Größe zu erfassen, müssen wir weiter ausholen:

Zunächst wollen wir uns die Erscheinungen und Gesetze der Temperaturstrahlung vergegenwärtigen, um welche es sich hier handelt, im Gegensatz zum „kalten Licht“ der Lumineszenzstrahlung. Denken wir zunächst nur an einen festen oder flüssigen Körper: Ein solcher strahlt, solange seine Temperatur über dem

absoluten Nullpunkt (-273°) liegt, aus und er empfängt von allen Seiten Strahlen; strahlt er mehr aus, als er empfängt, so fällt seine Temperatur, im anderen Falle steigt sie. Bei niedrigen Temperaturen sendet er nur ganz langwellige, unsichtbare Strahlen aus, zu diesen treten bei zunehmender Temperatur immer kurzwelligere hinzu; bei etwa 420° (in geringen Grenzen abhängig vom Stoff) beginnt die nur die Stäbchen der Netzhaut erregende und daher unstet erscheinende Grauglut, ihr folgt die auch die Zapfen erregende, stetige Rotglut bei etwa 525° ; bei 1000° glühen die Körper gelb, bei 1200° beginnt die erst bei 1600° ihr Maximum erreichende Weißglut; bei ihr liefern (mit Ausnahme der Oxyde der seltenen Erden) alle festen und flüssigen Körper ein kontinuierliches Emissionsspektrum vom Ultrarot bis zum Ultraviolett, welches bei gegebener Temperatur für den einzelnen Stoff nur durch die Lage des Maximums, von dem die Intensität nach beiden Seiten abfällt, charakterisiert ist. Mit weiter steigender Temperatur verschiebt sich das Maximum immer mehr nach der kurzwelligen Spektralseite; für den absolut schwarzen Körper gilt hierbei das Wiensche Gesetz, daß das Produkt aus Temperatur und Wellenlänge des Maximums konstant ist. Je heißer der strahlende Körper ist, um so mehr überwiegt der Anteil der sichtbaren und ultravioletten Strahlen an der Gesamtstrahlung. Die effektive Temperatur eines strahlenden Körpers ergibt sich, vorausgesetzt, daß er wie ein „absolut schwarzer Körper“ strahlt, aus dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz, nach welchem die Gesamtstrahlung proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur ist, nachdem die Strahlungskonstante für den „absolut schwarzen Körper“, von welchem noch die Rede sein wird, durch Lummer und Pringsheim experimentell festgelegt ist. Ganz anders wie die festen und flüssigen Körper verhalten sich leuchtende Gase und Dämpfe: Sie senden stets diskontinuierliche Spektren aus, bei niedrigen Temperaturen Bandenspektren, bei hohen Linienspektren, deren Zahl, Zusammensetzung und Anordnung von der chemischen Beschaffenheit der Stoffe abhängt, und für welche zahlreiche Gesetzmäßigkeiten bestehen. Alle glühenden Gase besitzen nach dem, Allgemeingültigkeit für alle Körper besitzenden, Kirchhoffschen Fundamentalgesetz der Strahlung die Eigenschaft, daß sie dieselben Lichtstrahlen absorbieren, welche sie bei gleicher Temperatur emittieren.

Zerlegen wir die weißgelb erscheinenden Sonnenstrahlen in ihre einzelnen Spektralteile vermittelt eines Prismas oder entwerfen besser, weil die Länge eines prismatischen Spektrums vom brechenden Winkel und dem Dispersionsvermögen der Prismensubstanz abhängig ist, vermittelt eines Gitters ein „natürliches“ Spektrum, so finden wir ein von der feurig-flüssigen Masse der Photosphäre ausgehendes kontinuierliches Spektrum, durchzogen von zahllosen dunkeln Linien, den bekannten Fraunhoferschen Linien, welche die Spektren der an der etwa 700 km mächtigen Basis der Sonnenatmosphäre vorhandenen Gase und Dämpfe darstellen. Die gesamte Sonnenatmosphäre (oder auch Chromosphäre genannt) ist wechselnd zwischen 7000 bis 11000 km dick und besteht oberhalb ihrer Basis meist nur aus Wasserstoff, Calcium und Helium; die Basis wird auch die „umkehrende Schicht“ genannt, weil die in ihr enthaltenen glühenden Gase nach dem oben erwähnten Kirchhoffschen Gesetze diejenigen Strahlen, welche sie selbst ausstrahlen, absorbieren, so daß ihre Spektrallinien nunmehr (als Fraunhofersche Linien) dunkel erscheinen auf dem hellen Untergrunde des kontinuierlichen Spektrums. In mühsamer Arbeit hat man, von der (homogensten) roten Cadmiumlinie als Urnormale ausgehend, mehr als 5000 (davon etwa 750 im Ultrarot) Fraunhofersche Linien identifiziert und ihre Lage im Spektrum bis auf $\frac{1}{10000} \mu$ (1 Mikron — μ — gleich $\frac{1}{1000}$ mm) genau festgelegt, und wir wissen hieraus, daß die Sonne im wesentlichen aus denselben Elementen aufgebaut ist wie die Erde. Bekanntlich erstreckt sich das Sonnenspektrum über beide Seiten des sichtbaren Teiles hinaus ins Ultrarot und Ultraviolett, aber doch nicht so weit, wie es nach dem Charakter des extraterrestrischen Spektrums, insbesondere der Lage seines Maximums, erwartet werden muß, und hieraus schließt man mit Sicherheit auf selektive Absorptionswirkungen durch Gase. Nur fragt es sich, ob diese Absorption in der Erdatmosphäre oder schon in der Sonnenatmosphäre stattfindet, denn es versagen bei Deutung dieser Endabsorptionsbanden die beiden Mittel, welche zur Entscheidung tellurischer und solarer Absorptionslinien im sichtbaren Spektrum angewandt werden, nämlich 1. die Zunahme des deutlichen Sichtbarwerdens der tellurischen Linien mit steigender, dünnere Atmosphärenschichten durchstrahlender Sonne, 2. die Verschiebung der vom sich nähernden Ost- bzw. sich entfernenden Westrande

der Sonne gleichzeitig herkommenden gleichartigen Spektrallinien gegeneinander — infolge von Dopplers Prinzip. Im äußersten sichtbaren Rot und im Ultrarot finden sich neben Absorptionslinien auch Absorptionsbanden, von welchen noch die Rede sein wird.

Wie gesagt, scheint das Problem hoffnungslos, die gesamten Einzellinien dieses langgedehnten Spektrums gleichzeitig oder in so kurzer Zeit auszumessen, daß Sonnenhöhe und atmosphärischer Zustand als konstant angesehen werden können — und dennoch ist es gelöst. Langley hat die sehr sinnreiche Methode erdacht, und er und seine Schüler und Nachfolger Abbot, Fowle und Aldrich haben sie mit großer Experimentierkunst und technischer Geschicklichkeit, fußend auf Millionienstiftungen amerikanischer Mäzäne, bis zur sicheren praktischen Anwendungsmöglichkeit ausgebaut und bei stets fortschreitender Vervollkommnung nuncmehr schon $1\frac{1}{2}$ Jahrzehnte an verschiedenen Orten der Erde und in sehr verschiedenen Höhenlagen angewandt. Die Hauptbeobachtungen sind auf dem 1730 m hohen Mount Wilson in Kalifornien angestellt; viel ist auch in Washington fast im Meeresniveau gemessen, andererseits sind 4420 m Meereshöhe auf dem Mount Whitney in Kalifornien erklimmen, und zu Kontrollzwecken sind zwei Expeditionen ausgeführt nach Algier (Bassour 1160 m Meereshöhe) in eine Entfernung von $\frac{1}{3}$ des Erdumfanges vom gleichzeitigen Beobachtungsort des Mount Wilson.

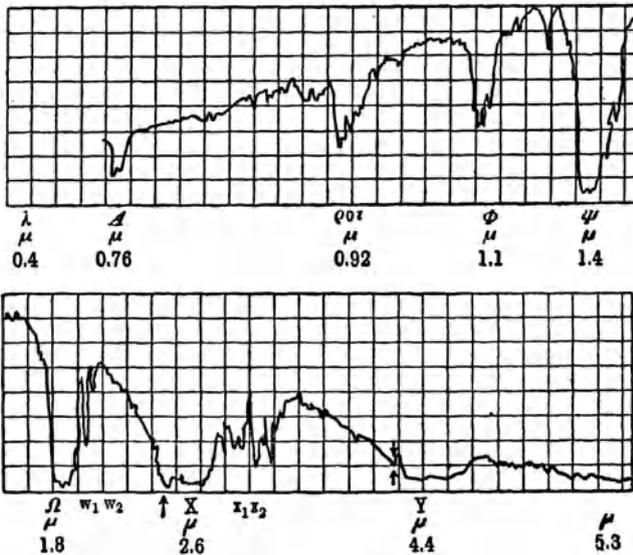
Langley legte als Einheitsmaß das der Wärme zugrunde: Alle Strahlen, die kurzwelligen wie die langwelligen, führen demjenigen Körper, der sie restlos absorbiert, eine ihrer Energie entsprechende Wärmemenge zu. Es galt also 1. eine alle Strahlen vollkommen absorbierende Substanz zu finden, 2. Meßinstrumente zu konstruieren, welche so kleine Energiemengen, wie sie von Spektrallinienbreite entsprechenden Spektralteilen ausgesandt werden, noch sicher anzeigen, 3. eine Methode zu finden, nach welcher die Arbeit in so kurzer Zeit vollbracht werden kann, daß innerhalb derselben die Sonnenhöhe und der atmosphärische Zustand als unverändert angesehen werden können. Die ersten beiden Aufgaben löste Langley mit seinem Bolometer (im Prinzip eine Wheatstonesche Brücke), welches, von Langleys Nachfolger Abbot in seinen Akzessorien weiter ausgebaut, heute folgendermaßen gestaltet ist: Die beiden Teile des ersten Stromkreises bestehen aus zwei möglichst ganz identischen, kunstvoll her-

gestellten und im Kampferrauch geschwärzten Platinstreifen von 12 mm Länge, 0,06 mm Breite und 0,005 mm Dicke, welche dicht beieinander ruhen; die beiden aus Platinspiralen bestehenden Teile des zweiten Stromkreises lagern jenseits einer nur von der Drahtzuleitung durchsetzten Scheidewand und kommunizieren mit dem in mannigfaltigster Weise zu verstellenden Rheostaten. Die Sonnenstrahlen treten durch einen mit mehreren geschwärzten Diaphragmen ausgestatteten, konisch verlaufenden, vorn mit einer Glas- oder Quarzlinse abgeschlossenen luftleeren Raum derart ein, daß sie nur den einen der winzigen Streifen bestrahlen können. Das Ganze ist zwecks Erhaltung gleichmäßiger Temperatur umgeben von einem doppelwandigen, von Wasser stets gleicher Temperatur durchströmten Metallmantel. Die den Strom liefernde Batterie befindet sich ebenso wie das gegen Einflüsse von Erschütterungen und von verirrten elektrischen Strömen aufs energischste geschützte Galvanometer außerhalb; letzteres hat eine Empfindlichkeit von $5 \cdot 10^{-10}$ Amp. und zeigt noch Temperaturdifferenzen des kleinen Streifens von 1 millionstel Grad Celsius an, wenn derselbe infolge Bestrahlung seinen Widerstand proportional der Temperatur ändert und dadurch, das Gleichgewicht des Stromkreises störend, das Galvanometer zum Ausschlag veranlaßt.

Das Bolometer bildet nun gewissermaßen das Auge zweier hintereinander geschalteter Spektroskope, deren zweites aus dem vom ersten entworfenen Spektrum einen linienartigen Streifen ausschneidet — in beiden sind die Linsen durch Spiegel ersetzt. Damit Schlierenbildung durch verschieden temperierte Luftmassen verhindert werde, verläuft der ganze lange Strahlengang in ventilierten Röhren. Synchron mit dem langsam sich drehenden und das ganze Spektrum allmählich über das Bolometer hinwegführenden Prisma zieht eine photographische Platte vor dem Galvanometerzeiger senkrecht zu seinen Ausschlägen vorbei und nimmt die ganze Energiekurve der Sonnenstrahlung innerhalb 11 Minuten auf. Sollen auch die letzten Ausläufer des Spektrums im Ultrarot und Ultraviolett mitgenommen werden, so muß das Glasprisma gegen ein Steinsalzprisma bzw. Quarzprisma ausgewechselt werden, im letzteren Falle wird auch ein Vertausch der Silberspiegel gegen Magnaliumspiegel nötig. Die Originalkurve eines Teiles des ultraroten Spektrums mit den Absorptions-

banden $\rho\sigma\tau\Phi\Psi\Omega$ zeigt (verkleinert) die beifolgende Fig. 3. Die Entfernung von der Grundlinie, also die Höhe der Kurve, entspricht dem dem betreffenden Spektralteile zukommenden Energieanteil. Die Details der Aufnahme sind so fein, daß beispielsweise im sichtbaren Spektrum die zwischen den beiden *D*-Linien des Natriums stehende zarte Nickellinie noch zum Ausdruck kommt. Die so erhaltene Kurve ist in ihrer Gestalt noch ab-

Fig. 3.

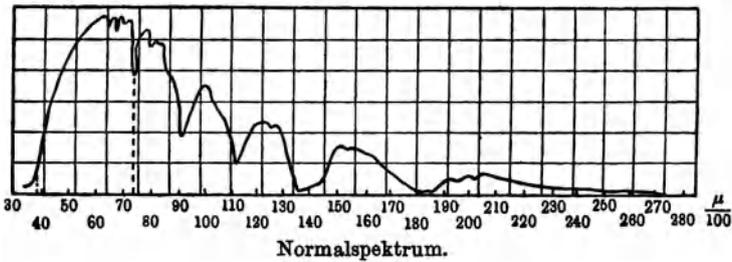


hängig von der Optik des Systems, im speziellen von der Dispersionsgröße des Prismas und muß durch Rechnung überführt werden in eine Kurve des normalen Spektrums. Fig. 4 zeigt eine so gewonnene Kurve des gesamten normalen Spektrums in sehr verkleinertem Maßstabe.

Um nun nicht nur die Energieverteilung, sondern auch die Energie jedes beliebigen Spektralteils in absolutem Maß festzustellen, bedarf es der gleichzeitigen Messung der Gesamtenergie nach der später zu besprechenden pyrheliometrischen Methode, und der Gleichsetzung der nach ihr erhaltenen Anzahl Gramm-

kalorien pro Minute und Quadratcentimeter mit der von der gesamten Energiekurve umschriebenen Fläche. Es ergibt sich alsdann auch der auf jeden einzelnen, von beliebigen Spektrallinien eingeschlossenen Flächenraum entfallende Energiebetrag, d. h. die Energie eines jeden gewünschten größeren oder kleineren Spektrumteils. Aus zweien oder mehreren solcher an ungestörten Tagen bei verschiedenen Sonnenhöhen aufgenommenen Kurven lassen sich nach dem oben beschriebenen Verfahren die Transmissionskoeffizienten und die extraterrestrischen Intensitäten einer jeden beliebigen Spektrallinie und damit die extraterrestrische Energiekurve der Sonnenstrahlung ableiten, nachdem die oben erwähnten, erst in der Erdatmosphäre entstehenden Absorptionsbanden im

Fig. 4.



äußersten sichtbaren Rot und im Ultrarot bei der Flächenauswertung der aufgenommenen Kurven entsprechend berücksichtigt sind. Gleichzeitig erhält man bei diesem Verfahren auch den Energiewert der extraterrestrischen Sonne in Wärmeeinheiten, die sogenannte „Solarkonstante“. In der Praxis genügt es, für 44 annähernd gleichmäßig über das Spektrum verteilte Spektrallinien die Ausmessung und Berechnung durchzuführen und aus ihnen die Gesamtkurve zu konstruieren. Die Form und Größe der Absorptionsbanden, ihre Beziehung zur Sonnenhöhe, ihre Konstanz oder Veränderlichkeit, haben für die meisten die sichere Deutung ihrer Herkunft ermöglicht und für die vom Wasserdampf herstammenden eine sehr enge Beziehung zwischen dem Wasserdampfgehalt der Luft und der verschiedenen Tiefe der Kurvensenke ergeben. Ja es ist gelungen, mit Hilfe dieser spektroskopischen Methode den absoluten Wasserdampfgehalt der Luft zu bestimmen,

nachdem durch Laboratoriumsversuche größten Stils (mit Hilfe von 128 bis 246 m langen, Wasserdampf verschiedener Dichte und Temperatur enthaltenden Röhren und Extrapolation der aus ihnen gefundenen Resultate auf die Größenverhältnisse der Atmosphäre) die Beziehung zwischen Tiefe der Kurvensenken und absolutem Wasserdampfgehalt festgelegt worden ist. Auf diese Weise erhalten wir Aufschluß über den Wasserdampfgehalt der gesamten durchstrahlten, also auch allerhöchsten Atmosphärenhöhen, und die Vergleichsproben mit den Aufzeichnungen von Pilotballons haben gut übereinstimmende Resultate ergeben. Die den Wasserdampfgehalt und die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung verbindende, aus den Beobachtungen abgeleitete Formel werden wir noch kennen lernen.

Bilden diese bewundernswerten amerikanischen Messungen auch zweifelsohne den Ausgang der durchgreifenden systematischen Erforschung der Sonnenstrahlung und sind sie auch heute noch die führenden, so hat es an wertvollen, ergänzenden und kontrollierenden an anderen Orten wahrlich auch nicht gefehlt. Am astrophysikalischen Observatorium in Potsdam ist seit 1912 eine ähnlich weitgreifende Registrieranlage unter Wilsings, auf verwandtem Gebiet schon bestbewährten, Händen entstanden, und eine größere Anzahl feinsterdachter und feinstdurchgeführter, auf recht verschiedenen physikalischen Methoden beruhender, leicht übersichtlicher und transportabler Instrumente ist zu ausgiebigen und peinlichst durchgeführten Beobachtungen in einzelnen, und zwar recht verschiedenen Spektralteilen an geographisch, klimatisch und der Höhenlage nach sehr verschiedenen Orten der Erde verwandt, und sie dienen zu einer erwünschten Kontrolle der amerikanischen Registriermethode, welche hauptsächlich wegen der Umständlichkeit der Apparatur und der dadurch gegebenen Möglichkeit unerkannt gebliebener Fehlerquellen zu bisweilen recht ungerechten und in allen ausschlaggebenden Teilen als widerlegt anzusehenden Kritiken Veranlassung gegeben hat. Wir werden auf die für diese kontrollierenden Messungen an einzelnen Spektrallinien angewandten Instrumente und Methoden noch später zurückkommen, wenn wir die nutzbringenden Untersuchungen breiterer Spektralausschnitte besprechen, und wollen hier zunächst die Hauptresultate zusammenstellen, welche sich insgesamt aus allen in spektral zerlegtem Licht angestellten

Messungen und ihrer Kombination mit den pyrheliometrischen Bestimmungen bisher ergeben haben.

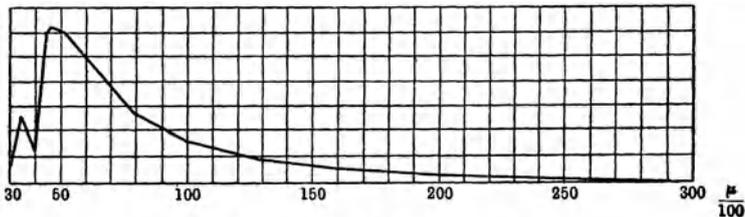
Die Solarkonstante, d. h. die Intensität der Sonnenstrahlung bei ihrem Eintritt in die Erdatmosphäre oder die daselbst einem Quadratcentimeter in der Minute auf dem Wege der Strahlung zugeführte Energie, beträgt in Grammkalorien $1,925 \left(\frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2} \right)$.

Dies ist ein Mittelwert aus vielen Hunderten von Messungen, in Wirklichkeit schwanken die Werte um einige Prozent in Abhängigkeit von der Sonnentätigkeit derart, daß eine Zunahme der Sonnenfleckenzahlen mit einer Zunahme des Wertes der Solarkonstante einhergeht. Hierbei entspricht in roher Annäherung einer Vermehrung der Fleckenzahl um 100 eine Vermehrung der Solarkonstante um 0,07 kal. In noch sicherer Beziehung als zur Fleckenzahl scheint die Sonnenstrahlung nach den jüngsten Forschungen zu der Veränderung der Helligkeitsverteilung über die ganze Sonnenscheibe zu stehen: Mit abnehmendem Helligkeitskontrast zwischen Sonnenzentrum und Sonnenrand nimmt der Wert der Solarkonstante ab. Hiernach wären die Strahlungsschwankungen weniger die Folge der Durchbrechung einzelner Stellen der Sonnenumhüllung als einer die ganze Sonnenkugel betreffenden Änderung. Periodische Schwankungen von der Dauer einiger Tage hat man zeitweise zu beobachten geglaubt, sie sind aber doch wohl noch nicht als sichergestellt zu betrachten; solche von Stundendauer, welche man in Analogie zu periodischen Helligkeitsänderungen gleichaltriger Fixsterne mutmaßte, müssen, sofern sie vorhanden sind, unterhalb 1 Proz. liegen. Die Temperatur der Photosphäre der Sonne berechnet sich sowohl aus der Solarkonstante wie auch aus der Lage des Maximums der Energie innerhalb des Spektrums nach den oben erwähnten Stefanschen und Wienschen Gesetzen in ziemlich guter Übereinstimmung untereinander auf etwa 6000° , vorausgesetzt, daß die Sonne wie ein schwarzer Körper strahlt. Nach Abweichungen der Energiekurve des extraterrestrischen Sonnenspektrums von der des schwarzen Körpers muß man die Temperatur höher, zwischen 6000 bis 7000° liegend, schätzen.

Das extraterrestrische Sonnenspektrum. Die Energieverteilung im Sonnenspektrum außerhalb der Erdatmosphäre zeigt für den Spektralbezirk $0,3$ bis $3,0 \mu$ die umstehende Fig. 5. Die Wellen-

längen sind in der Figur in $\frac{1}{100} \mu$ angegeben, das für die Energie- (Intensitäts-)verteilung gewählte Maß ist ein willkürliches. Auch die Energieverteilung über das Spektrum schwankt um wenige Procente, wie es nach der Konstitution der Sonne im voraus zu erwarten ist. Das Maximum liegt bei $0,47 \mu$ und fällt von hier aus nach der kurzwelligen Seite schneller als nach der langwelligen. Betrachten wir den Spektralteil des sichtbaren Lichtes zwischen etwa $0,40$ und $0,76 \mu$, so können wir aus der Kurve schließen, daß die Sonne außerhalb der Erdatmosphäre dem menschlichen Auge bläulich erscheinen muß. Da die Konstruktion der extraterrestrischen Energiekurve auf einem Extrapolationsverfahren beruht, wie oben des näheren beschrieben ist, so läßt

Fig. 5.



Extraterrestrisches Sonnenspektrum.

sich natürlich nichts über die Existenz und den Anteil derjenigen Strahlen aussagen, welche — in der Erdatmosphäre absorbiert — nicht zur Erdoberfläche gelangen ¹⁾. Wie schon oben erwähnt, muß die Photosphäre der Sonne nach dem Charakter ihres kontinuierlichen Spektrums sowohl kürzere wie auch längere Wellenlängen emittieren, als sie an der Erde nachweisbar sind. In dem extrapolierten, extraterrestrischen Sonnenspektrum entfallen von der Gesamtenergie etwa 43 Proz. auf das Ultrarot, 52 Proz. auf das sichtbare Spektrum und 5 Proz. auf das Ultraviolett.

Das terrestrische (an der Erdoberfläche beobachtete) Sonnenspektrum. Auf seine Gesamtenergie, gemessen durch die Wärmestrahlung, wird weiter unten eingegangen werden. Bestimmt die Sonnenhöhe,

¹⁾ Hier setzen, wie nicht unerwähnt bleiben soll, harte Angriffe gegen die Langley-Abbottsche Methode zur Bestimmung der Solar-konstante ein, welche insbesondere von Bigelow ausgehen, von Very aber widerlegt sind.

d. h. die Weglänge der Strahlen in der Erdatmosphäre, die Gesamtenergie der am Erdboden anlangenden Sonnenstrahlung zu einem wesentlichen Teil, so hängt die Energieverteilung innerhalb des Spektrums fast ausschließlich von der Sonnenhöhe ab, denn es verlieren mit zunehmender Weglänge die kurzwelligen Strahlen viel schneller an Intensität als die langwelligen. Daher hat im terrestrischen Sonnenspektrum bei mittlerer Sonnenhöhe das Ultrarot etwa 60 Proz., das sichtbare Spektrum etwa 40 Proz. Anteil an der Gesamtenergie, und das Ultraviolett nur noch kaum 1 Proz., und bei niedriger sinkender Sonne schwindet des letzteren Teil immer mehr bei gleichzeitiger schnellerer Zunahme des ultraroten Teiles. Auch bei Zenitsonne liegt das Intensitätsmaximum nicht mehr, wie bei der extraterrestrischen Sonne, im Blaugrün, sondern im Gelb, und es wandert bei mittelhoher Sonne ins Gelborange (wie in Fig. 4) und bei tiefer Sonne ins Rot — jedem ist dieser Farbenwechsel der Sonne aus eigener Anschauung bekannt. Auch im terrestrischen Sonnenspektrum fällt die Energiekurve vom Maximum nach der kurzwelligen Seite viel schneller ab als nach der langwelligen; diese ungleiche seitliche Verteilung, die Länge des ultraroten, die Kürze des ultravioletten Teiles, verursachen mehr noch als die ungleiche Höhe die verschiedene Intensität, den überwiegend großen Anteil des ultraroten, den verschwindend kleinen des ultravioletten Spektralteils an der Gesamtenergie.

Die Gesetze der Strahlenzerstreuung und die theoretische Ableitung der Sonnenintensität für jeden beliebigen Ort. Auf S. 5 bis 6 haben wir die Sonnenstrahlen auf ihrem Wege durch die Atmosphäre verfolgt unter der Voraussetzung einer stets gleichbleibenden, aber noch unbekanntten Gesetzmäßigkeit, nach welcher ihre Schwächung erfolgt. Dieser Gesetzmäßigkeit wollen wir nunmehr nachforschen: Die Gesetze, nach welchen die Sonnenstrahlen bei ihrem Durchgang durch die Atmosphäre eine Schwächung erfahren, sind recht zufriedenstellend geklärt. Es wurde schon S. 4 erwähnt, daß grundsätzlich zu scheiden ist zwischen „selektiver Absorption“ bei Umsetzung der Energie der Strahlung in eine andere Energieform und „Extinktion“ infolge Ablenkung der Strahlen in andere Richtungen.

Durch selektive Absorption wird insbesondere die Schwächung und das vorzeitige Ende des Sonnenspektrums im Ultrarot und

Ultraviolett herbeigeführt, in ersterem durch die teilweise aus Fig. 3 ersichtlichen Absorptionsbanden des Wasserdampfes (2,2 bis 3,0 μ ; 4,5 bis 6,3 μ), der Kohlensäure (2,3 bis 3,0 μ ; 4,2 bis 4,4 μ ; 12,5 bis 16,5 μ) und des Ozons (9,5 bis 9,9 μ), wobei als neue Energieform die Wärme auftritt, in letzterem zu einem Teil gleichfalls durch Absorption durch Ozon. Zum jähen Abbruch des Sonnenspektrums im Ultraviolett wirken auch noch andere Ursachen mit. Nach Lenards und Ramsauers klassischen Untersuchungen müssen die kurzwelligsten ultravioletten Strahlen ($\mu < 0,18$) bereits in den allerhöchsten, von sehr verdünnten Gasen erfüllten Schichten unter Erzeugung von Elektrizitätsträgern absorbiert werden, und Strahlen der Wellenlängen von 0,18 bis 0,29 μ dienen, wie bereits oben gestreift, in den vom Sauerstoff gerade noch erreichten Höhen zu seiner chemischen Umsetzung in Ozon und zur Bildung von Nebelkernen (Wasserstoffsuperoxyd, Stickoxyde usw.) durch chemische Einwirkung des Ozons auf Ammoniak. Hier wandelt sich also die Energie der Strahlung in die chemische Energieform um. Das ultraviolette Ende des Spektrums hängt von der Sonnenhöhe ab, und zwar, wenn auch wohl nur annähernd, in der von Cornu gefundenen gesetzmäßigen Weise, daß die letzterhaltenen Wellenlängen und die Logarithmen der Sinus der Sonnenhöhen die Gleichung einer Geraden erfüllen. Der Verfasser hat diese Gesetzmäßigkeit für die Jahresmittel durch regelmäßige Dauerregistrierungen im allgemeinen bestätigen können; er fand die Beziehung zwischen Sonnenhöhe und kleinster Wellenlänge folgendermaßen:

Sonnenhöhe	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Wellenlänge in $\mu\mu$	315,8	310,6	307,8	305,6	304,3	302,8	301,6	299,7	298,5	298,4	297,9

Man erkennt, daß der Unterschied der Ausdehnung des ultravioletten Spektrums bei hoher und niedriger Sonne ein recht bedeutender ist. Gleichzeitig konnte der Verfasser durch über Jahre fortgesetzte Beobachtungen nachweisen, daß die Jahreszeiten von wesentlichem Einflusse sind, daß z. B. — auf gleiche Sonnenhöhe bezogen — im Herbst stets kleinere Wellenlängen gefunden werden als im Frühjahr. Über die Zunahme der Länge

des ultravioletten Spektrums mit der Elevation über den Meeresspiegel liegen entscheidende Resultate noch nicht vor. Unter günstigsten Verhältnissen ist die Wellenlänge $289,6 \mu$ beobachtet — es kommt bei diesen äußersten Ausläufern recht sehr auf die Qualität der angewandten Optik an. Auf der langwelligen Seite sind jenseits 5μ nur noch Spuren von Strahlenwirkung bei 13 bis 18μ nachgewiesen. Auch nach ganz langwelligen Wärmestrahlen hat man minutiös gesucht, sie aber nicht finden können, obwohl ultrarote Strahlen bis zu 600μ Länge bekannt sind. Der selektive Absorptionseffekt beschränkt sich nicht auf das Ultrarot und das Ultraviolett, sondern tritt auch im sichtbaren Spektrum auf, hier hervorgerufen von den permanenten Gasen. Sie verursachen eine zwar nur sehr flache, aber ziemlich weit gedehnte Depression der Kurve von $0,535$ bis $0,650 \mu$ (maximal zwischen $0,570$ und $0,580$), und die in Fig. 3 bei $0,76 \mu$ erkennbare *A*-Bande sowie eine ähnliche bei $0,69 \mu$ liegende *B*-Bande entstehen ausschließlich durch den Sauerstoff der Luft. Sämtliche Absorptionsbanden außer ω_1 bei $2,01 \mu$ und ω_2 bei $2,05 \mu$ sind ihrer Herkunft nach identifiziert. Da 95 bis 99 Proz. aller zur Erde gelangenden Sonnenstrahlen dem von $0,3 \mu$ und $2,4 \mu$ begrenzten Spektralteil zugehört, so interessiert im wesentlichen nur die selektive Absorption

1. der permanenten Gase, welche ausschließlich von der Sonnenhöhe, also der Weglänge der Strahlen abhängt (dies gilt auch für die Banden ω_1 und ω_2 noch unbekannter Herkunft);

2. des Wasserdampfes, welche außer von der Sonnenhöhe auch von dem jeweiligen Wasserdampfgehalt der gesamten Atmosphäre abhängig ist. Über letztere Beziehung wurde schon S. 13 gesprochen. Vom Staubgehalt der Luft wird zunächst abgesehen.

Die die Extinktion verursachende Ablenkung der Sonnenstrahlen geschieht auf mannigfache Weise durch Beugung, Brechung, spiegelnde und diffuse Reflexion. Der relative Anteil dieser verschiedenen physikalischen Effekte hängt von dem Reinheits- und Feuchtigkeitsgrad und der Dichte der Luft ab. Staubfreiheit vorausgesetzt, überwiegt der Beugungs- (Diffraktions-) Effekt wohl stets, und zwar um so mehr, je trockener die Luft ist. Hierbei ist nicht die uns durch den Hof um Mond und Sonne bekannte Strahlenbeugung an Wassertröpfchen und Eiskristallen ausschlag-

gebend, sondern die molekulare Diffraktion an den Luftmolekeln selbst. Hier gilt das von Lord Rayleigh für trübe (d. h. durch ultramikroskopisch kleine Körper in der Durchsichtigkeit geschwächte) Medien theoretisch abgeleitete und dann experimentell bestätigte Gesetz: Treffen Strahlen auf Teilchen, welche gegenüber ihrer Wellenlänge klein sind, so werden sie von denselben umgekehrt proportional der vierten Potenz ihrer Wellenlängen zerstreut. Nach diesem Gesetz muß also der durch die Atmosphäre durchfallende Sonnenstrahl um so reicher an langwelligem (rotem) Licht werden, je weiter er vordringt und auf je mehr zerstreuend wirkende Luftpartikel er dabei stößt. Teilchen, welche auch noch ultramikroskopische Größe besitzen, aber nicht mehr klein gegenüber der Wellenlänge des Lichtes sind, wirken diffus reflektierend und zerstreuen alsdann die auffallenden Strahlen nicht umgekehrt proportional der vierten, sondern etwa umgekehrt proportional der zweiten Potenz der Wellenlänge der Strahlen. Die Grenze der durch molekulare Beugung und durch diffuse Reflexion wirksamen Partikelgröße wird man nach neuesten Untersuchungen für weißes Licht in roher Annäherung bei $0,18 \mu$ zu suchen haben, denn (kugelförmig gedachte) Teilchen, deren Durchmesser kleiner als $0,18 \mu$ ist, zeigen noch nicht die Farbe des kompakten Materials. Annähernd nach diesem letzteren Gesetz der diffusen Reflexion zerstreut der Wasserdampf die Strahlen, und man schließt hieraus, daß der Wasserdampf stets mehr als Molekelgröße hat infolge Verbindung mit Ionen (Molisierung), oder mit den oben erwähnten Kondensationskernen, oder gar mit trockenem Dunst (Staub). Der Wasserdampf übt somit ebenso wie die Luftmolekeln eine doppelte Wirkung auf die durchfallenden Strahlen aus, eine absorbierende und eine zerstreuende, nur überwiegt bei den permanenten Gasen der Luft weitaus die letztere, beim Wasserdampf dagegen die erstere.

Aus seinem gewaltigen Beobachtungsmaterial hat Fowle eine einfache Gesetzmäßigkeit abgeleitet, welche, mathematisch geschrieben, folgendermaßen lautet:

$$i_{\lambda} = i_{0\lambda} (a_{\alpha\lambda} \cdot a_{w\lambda}^w)^2.$$

Sie erklärt sich wohl nach Hinweis auf S. 5 an Hand der beistehenden Tabelle am leichtesten durch ein Beispiel:

Solare Energiekurve ($i_{0\lambda}$) mit Transmissionskoeffizienten für trockene Luft ($a_{a\lambda}$) und Wasserdampf (1cm Niederschlag) ($a_{w\lambda}$).

λ	0,30	0,325	0,35	0,375	0,39	0,42	0,43	0,45	0,47	0,50
$i_{0\lambda}$	(539)	1271	2684	3459	3614	5251	5321	6027	6240	6062
$a_{a\lambda}$	—	—	(0,626)	0,695	0,731	0,793	0,808	0,837	0,858	0,883
$a_{w\lambda}$	—	—	0,926	0,942	0,947	0,955	0,957	0,961	0,963	0,968

λ	0,55	0,60	0,70	0,80	1,00	1,30	1,60	2,00	2,50	3,00
$i_{0\lambda}$	5623	5042	3644	2665	1657	898	532	247	43	(14)
$a_{a\lambda}$	0,901	0,917	0,963	0,982	0,992	0,997	0,999	0,999	0,999	—
$a_{w\lambda}$	0,972	0,972	0,982	0,985	0,987	0,987	0,987	0,986	0,982	—

Ist $a_{a\lambda} = 0,808$ der Transmissionskoeffizient für die Wellenlänge 0,430 auf dem Mount Wilson (620 mm Quecksilberdruck) bei Zenitsonne ($z = 1$) und ganz trockener Luft und wird von der übrigen Strahlung $a_{w\lambda} = 0,957$ bei dem Wassergehalt von 1 cm durchgelassen, und ist $i_{0\lambda} = \frac{5321}{m} \cdot n \frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}$ die Intensität des Lichtes der Wellenlänge 0,430 [nämlich das Verhältnis 5321 (laut Tabelle) der relativen Intensität zur mittleren Intensität des Gesamtspektrums (m) multipliziert mit der Gesamtintensität von (n) gr. kal. — m und n sind aus den mir zur Verfügung stehenden Tabellen zahlenmäßig nicht zu entnehmen], so ist die gesuchte Intensität derselben Wellenlänge (i_{λ}) in Washington (im Meeresniveau = 760 mm Quecksilberdruck) bei der Sonnenhöhe 30° , entsprechend der Weglänge der Strahlen $z = 2,00$, und bei einem Wassergehalt von 1,50 cm

$$i_{\lambda} = \frac{5321}{m} \cdot n (0,808^{760/620} \cdot 0,957^{1,50/1,00})^2 \frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}.$$

Der Wassergehalt wird von Fowle nicht, wie meist üblich, in Millimetern Quecksilberdruck des Wasserdampfes angegeben, sondern in Zentimetern Wasserhöhe der aus der gesamten, über dem Beobachtungsort stehenden vertikalen Luftsäule ausfällbaren Wassermenge. Fowle bestimmt ihn, wie S. 13 auseinandergesetzt, spektroskopisch; in Ermangelung solcher Messung kann er ersetzt werden durch Ableitung aus Hanns Formel $2,3 \cdot e \cdot 10^{-\frac{h}{22000}}$, in

welcher e der Dampfdruck in Zentimetern und h die Seehöhe in Metern ist.

Auf die oben exemplifizierte Weise kann, wie man sieht, die Energie i_λ einer jeden beliebigen Spektrallinie (λ) eines jeden beliebigen Ortes bei jeder beliebigen Sonnenhöhe (Tageszeit) abgeleitet werden und damit auch die zugehörige Gesamtintensität der Sonnenstrahlung. Eine Anwendung dieser empirisch auf dem Mount Wilson gefundenen Formel auf die nach verschiedenen physikalischen Methoden gewonnenen Messungsergebnisse von neun in Amerika, Europa und Asien in von 10 bis 4420 m variierender Meereshöhe gelegenen Orten hat im allgemeinen die Berechtigung zur Anwendung der Formel ergeben, solange nicht trockener Dunst, d. h. Staub, auftritt. Bei Abwesenheit von Staub — und das gilt nach den neun zur Vergleichung anstehenden Beispielen für die oberhalb 1000 m gelegene Atmosphäre — ist die Formel mit etwa 1 Proz. Genauigkeit an klaren Tagen anwendbar. Durch den Staub ändern sich die Absorptionskoeffizienten in verschiedener Weise zwischen 4 und 7 Proz., scheinbar ohne Abhängigkeit von der Wellenlänge, solange die Staubteilchen kleiner als 3μ bleiben. Wie groß die Intensitätsverluste der gesamten Sonnenstrahlung werden, wenn man vom Berg zur Ebene und aus der trockenen Luft in die feuchte steigt, und wie sie sich mit sinkender Sonne mehren, geht aus nebenstehenden, den wahren Messungen entnommenen und rechnerisch mit der diskutierten Formel gut übereinstimmenden Tabellenwerten hervor.

Bei mittlerer Sonnenhöhe geht hiernach auf höchsten Bergeshöhen etwa $\frac{1}{5}$, auf bewohnbaren Höhen des Hochgebirges etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$, in der Ebene mehr als $\frac{1}{2}$ der einfallenden Sonnenstrahlen verloren, bei niedriger Sonne und feuchter Luft verbleiben in der Großstadt Washington nur etwa 14 Proz. Die an diesem Ort durch Staub zerstreute Strahlung ist mit enthalten in der „durch H_2O zerstreut“ benannten Rubrik. Der auf die Stauberstreuung entfallende Energieverlust betrug am 15. Februar 3 Proz., am 14. Mai 14 Proz. — er wechselt natürlich in Abhängigkeit von der Wetterlage und äußeren Verhältnissen recht stark. Nach diesen und verwandten Messungen stammt bei staubfreier Luft der beim Durchgang der Sonnenstrahlung durch die ganze Atmosphäre bis zum Meeresniveau entstehende Strahlungsverlust etwa zur Hälfte von den permanenten Gasen der Atmo-

Mount Whitney. Energieverlust durch trockene Luft und Wasserdampf.

Höhe 4420 m. Barometerstand 44,7 cm.
Einfallende Strahlung 1,93 gr. kal. pro cm² und min.

Wasserdampf- gehalt	Wegstrecke Sonnenhöhe	z = 1	z = 2	z = 3	z = 4	z = 5	z = 7
		90°	30°	19,3°	14,3°	11,3°	7,9°
		Verlust Proz.	Verlust Proz.	Verlust Proz.	Verlust Proz.	Verlust Proz.	Verlust Proz.
0,00 cm	durch Luft zerstreut .	7,3	11,9	16,1	19,7	22,8	28,5
	durch Luft absorbiert	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0
	Gesamtverlust	8,0	12,0	17,0	20,0	23,0	30,0
0,11 "	durch H ₂ O zerstreut .	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0
	durch H ₂ O absorbiert	4,1	5,2	5,7	6,2	6,2	6,7
	Gesamtverlust	12,0	18,0	23,0	27,0	31,0	37,0
0,50 "	durch H ₂ O zerstreut .	1,0	2,1	3,1	3,6	4,1	5,2
	durch H ₂ O absorbiert	6,2	7,8	8,3	8,8	9,4	10,4
	Gesamtverlust	15,0	22,0	28,0	33,0	37,0	45,0

Mount Wilson. Energieverlust durch trockene Luft und Wasserdampf.

Höhe 1730 m. Barometerstand 62,3 cm.
Einfallende Strahlung 1,93 gr. kal. pro cm² und min.

0,00 cm	durch Luft zerstreut .	7,8	14,5	19,7	24,4	28,0	34,2
	durch Luft absorbiert	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0
	Gesamtverlust	8,0	15,0	20,0	25,0	29,0	35,0
0,33 "	durch H ₂ O zerstreut .	1,0	1,0	2,1	2,1	2,1	2,6
	durch H ₂ O absorbiert	5,7	6,7	7,3	7,8	8,3	8,8
	Gesamtverlust	15,0	23,0	30,0	35,0	39,0	47,0
2,00 "	durch H ₂ O zerstreut .	4,7	6,7	9,8	10,9	13,0	14,5
	durch H ₂ O absorbiert	9,3	10,9	11,9	12,4	12,4	13,0
	Gesamtverlust	22,0	33,0	42,0	49,0	54,0	63,0

Washington. Energieverlust durch trockene Luft und Wasserdampf.

Höhe: Meeresniveau. Barometerstand 76,0 cm.
Einfallende Strahlung 1,93 gr. kal. pro cm² und min.

0,00 cm	durch Luft zerstreut .	9,3	17,1	22,8	27,5	31,6	37,8
	durch Luft absorbiert	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	Gesamtverlust	10,0	18,0	23,0	28,0	32,0	38,0
0,50 "	durch H ₂ O zerstreut .	4,1	7,8	10,9	13,5	15,5	19,2
	durch H ₂ O absorbiert	6,2	6,7	7,3	7,3	7,3	7,3
	Gesamtverlust	20,0	32,0	42,0	49,0	55,0	65,0
2,40 cm 14. Mai	durch H ₂ O zerstreut .	19,7	29,0	34,7	38,3	40,4	43,0
	durch H ₂ O absorbiert	8,3	8,3	7,8	7,3	6,7	5,2
	Gesamtverlust	38,0	55,0	66,0	74,0	79,0	86,0

Die ersten beiden Zeilen jeder Tabelle enthalten die seitens der permanenten Gase durch molekulare Zerstreung bzw. selektive Absorption verursachte Schwächung; dieser zweifache, in der dritten Zeile summiert aufgeführte Energieverlust ist stets vorhanden. Die folgenden Zeilen geben den jeweiligen Energiebetrag an, welcher durch die wechselnde Menge des Wasserdampfes zerstreut bzw. absorbiert wird; in jeder dritten Zeile ist der Gesamtverlust durch Luft + Wasserdampf aufgeführt.

sphäre und zur anderen Hälfte vom Wasserdampf, wobei — wie schon oben betont — die permanenten Gase weitaus am meisten durch Extinktion und nur zu einem kleinen Teil durch selektive Absorption, der Wasserdampf dagegen überwiegend durch selektive Absorption bei relativ geringer Extinktion wirken. Je höher man sich über den Meeresspiegel erhebt, um so mehr tritt die Wirkung des Wasserdampfes zurück gegenüber der der Luftmolekeln.

Bei Anwendung der auf dem Mount Wilson im Mittel gefundenen Zahlen auf die Verhältnisse der ganzen Erde ergibt sich: Von der gesamten Energiemenge, welche die Sonne der Erde austrahlt, gelangen nur 75 Proz. bis zu 1800 m Höhe und nur 50 Proz. bis zum Meeresniveau und unter Berücksichtigung der Bewölkung sogar nur 52 Proz. bzw. 24 Proz. Im Mittel erhält also durch direkte Sonnenstrahlung das Meeresniveau nicht die Hälfte derjenigen Strahlungsenergie, welche zu 1800 m Höhe gelangt.

Die Sonnenstrahlung, nach ihren Hauptwirkungen betrachtet.

So wunderbaren Aufschluß uns nun auch diese, das Problem von der rein physikalisch-mathematischen Seite angreifende, spektralanalytische Methode über das innere Wesen der Sonnenstrahlung gebracht hat, so genügen ihre Resultate doch nicht in allen Dingen den Anforderungen der Praxis. Gegen die rechnerische Übertragung der von Abbot auf dem Mount Wilson gefundenen, zu einem großen Teile an anderen Orten kontrollierten Zahlen auf die ganze Erde besteht vor allem der Einwand, daß der unterhalb 1000 m Meereshöhe meist einen sehr großen und wechselnden Einfluß ausübende Staubgehalt ohne Beobachtung rechnerisch unformulierbar ist. Auch die Fowlesche Korrekturformel für den Wasserdampf dürfte kaum eine genügende Allgemeingültigkeit haben: In Potsdam trifft sie, wie Wilsing mit seiner feinen Apparatur nachgewiesen hat, für kleine Wellenlängen (insbesondere zwischen 0,451 und 0,498 μ) nicht zu, und aus der keineswegs überall eindeutigen Beziehung zwischen Ausstrahlung und Wasserdampf, auf welche noch die Rede kommen wird, wird man auch bei der Einstrahlung größere Variationen von Ort zu Ort unter dem Einflusse ein und derselben Menge Wasserdampf mutmaßen dürfen. Fernerhin sind die von Abbot

im Ultraviolett angestellten Beobachtungen wohl zweifellos durch fremdes Licht beeinträchtigt, und er hat auch nicht bis zum Ende des ultravioletten Spektrums vordringen können, denn die Energie der Strahlung ist dort für die schwerfällige Apparatur und das angewandte Wärmemaß zu gering; es bedarf anderer Methoden, um über diesen, trotz seiner geringen Energie biologisch starke Effekte auslösenden, Spektralteil Kenntnisse zu gewinnen. Schließlich kann sich — was das ausschlaggebende ist — die Praxis nicht mit Jahresmitteln aus allerklarsten Tagen, wie sie zur physikalischen Lösung des Problems fast ausschließlich herangezogen sind, begnügen; sie will Aufschluß haben über den auch bei gleichbleibenden Sonnenhöhen vorhandenen Einfluß der Jahres- und Tageszeiten, über den Einfluß der meteorologischen Elemente, über die Strahlungssummen und ihre Verteilung über Tag und Jahr. Hierbei wird sie sich nicht befriedigen lassen durch eine Auskunft über die jederzeitige Gesamtintensität der Sonnenstrahlung, andererseits aber wird sie Masse, welche sich auf einzelne Spektrallinien beziehen, nicht verwerten können, sie wird stets anknüpfen an die bekannten Hauptwirkungen der Strahlen und daher Unterfragen stellen nach der Intensität der Wärme-, Helligkeits-, chemisch wirksamen und bakteriziden Strahlen und bei fortschreitendem Interesse wohl noch nach Einzelteilen dieser relativ großen Spektralbezirke. Mannigfache Methoden und Instrumente vielfach sinnreichster Art und teilweise künstlerisch-technischer Ausführung streben danach, solche Fragen zweckentsprechend zu beantworten.

Vergegenwärtigen wir uns als Übergang zur Betrachtung dieser auf den verschiedenen Wirkungen der einzelnen Spektralteile beruhenden Meßmethoden und der durch sie erzielten Resultate die verschiedenen Arten der Ätherstrahlung in ihrer Gesamtheit: Der hypothetische, gewichtslose (oder wohl besser gesagt „von den wägbaren Stoffen wesentlich verschiedene“), kontinuierlich den Raum erfüllende, inkompressible Äther, dessen Vorhandensein sowohl die mechanische wie auch die elektromagnetische Theorie zur Erklärung aller Strahlungsvorgänge annehmen muß, pflanzt, transversal schwingend, Strahlungen mannigfacher Art mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde wellenförmig nach allen Seiten des Raumes gleichmäßig fort bei proportional dem Quadrat der Entfernung abnehmender Intensität.

Nur die verschiedene Geschwindigkeit, mit welcher die Äthertheilchen schwingen, also die Anzahl (n) der Schwingungen pro Sekunde oder die verschiedene Wellenlänge (λ) [weil bei stets gleichbleibender Fortpflanzungsgeschwindigkeit (v) $v = n \cdot \lambda$] lösen die verschiedenen Arten von Wirkungen aus, welche wir als elektrische, Wärme-, Licht-, chemische, bakterizide kennen, von welchen die Wärmewirkung häufig mit den ultraroten Strahlen, die chemische mit den ultravioletten Strahlen identifiziert wird, was nur annähernd richtig ist. Auch die Impulsstrahlung der Röntgenstrahlen ist eine Ätherstrahlung; sie entstehen durch die Kathodenstrahlen, wenn dieselben, auf die Antikathode fallend, plötzlich gebremst werden und daher den Äther in sehr geschwinde Schwingungen versetzen. Die Kathodenstrahlen selbst gehören dagegen zu den, ganz anderen physikalischen Gesetzen folgenden, korpuskularen Strahlungen. Wir kennen heute:

elektrische Wellen von unbegrenzt großer Wellenlänge
bis zu 2 mm (die drahtlose Telegraphie bedient sich
solcher von 300 bis 3000 m Länge),
ultrarote Strahlen von etwa 600 bis 0,76 μ ,
sichtbare Strahlen von 0,76 bis 0,40 μ ,
ultraviolette Strahlen von 0,40 bis 0,042 μ ,
Röntgenstrahlen von 0,00018 bis 0,00001 μ .

Lücken bestehen also nur noch zwischen den äußersten ultraroten und den elektrischen Wellenlängen einerseits und zwischen den äußersten ultravioletten und den Röntgenstrahlen andererseits.

Die Wärmestrahlung der Sonne. Die „Pyrheliometrie“, wie man sie genannt hat, d. h. die Messung der Wärmestrahlung der Sonne, wird stets den Ausgangspunkt und die Basis vergleichender Bestimmungen der Sonnenstrahlung bilden müssen, denn die Intensität der Wärmestrahlung vereinigt die Wirkungen sämtlicher Strahlen, nicht nur der ultraroten, wie es oft fälschlich heißt; wir sahen oben, daß von der Gesamtstrahlung der Sonne nur etwa 60 Proz. auf das Ultrarot entfallen, und daß das Maximum der Energie gar nicht im Ultrarot, sondern im Gelb oder Rot, je nach Sonnenhöhe, liegt. Zur Durchführung der Pyrheliometrie bedarf es eines Körpers, welcher alle auffallenden Strahlen jedwelcher Art restlos absorbiert und in Wärme überführt. Ein solcher, wie die Physik ihn nennt, „absolut schwarzer Körper“ existiert

in der Natur nicht, Ruß und Platinmoor kommen ihm nur nahe, letzteres absorbiert von der Sonnenstrahlung etwa 98,3 bis 98,8 Proz. Man kann den „absolut schwarzen Körper“ aber mit genügender Genauigkeit ersetzen durch eine metallene, innen geschwärzte Hohlkugel mit kleiner Öffnung. Tritt in eine solche ein Strahl unter großem Einfallswinkel ein, so verhindert die Undurchlässigkeit der Kugel einerseits und das bis zur vollständigen Absorption wiederholte Reflektiertwerden von der Innenwand andererseits einen Verlust der Strahlungsintensität — der Strahl wird vollkommen absorbiert, ehe er auf die kleine Einfallsoffnung zurückfallen könnte. Ebenso kann andererseits aus dem Innern der Kugel durch die kleine Öffnung nur Strahlung derjenigen Temperatur austreten, welche die Kugel besitzt. Mit Hilfe solches „absolut schwarzen Körpers“ sind die theoretisch gefundenen Strahlungsgesetze experimentell bewiesen. Unter Verwendung dieses Konstruktionsprinzips für den „absolut schwarzen Körper“ ist es C. G. Abbot nach viel langjährigem Bemühen gelungen, ein Normalinstrument zu schaffen und auf dasselbe eine pyrheliometrische Normalskala zu gründen, welche nunmehr als vollkommen gesichert und als Standardskala für die Welt anzusehen ist, nachdem im Jahre 1913 noch eine kleine Korrektur an der im Jahre 1910 aufgestellten Skala vorgenommen worden ist. Bei diesem „Water-flow pyrheliometer“ fallen die Sonnenstrahlen in eine geschwärzte, tiefe, konisch verlaufende Kammer, welche von fließendem Wasser umspült wird, dessen Temperatur durch Widerstandselektrometer bestimmt wird. Zur Kontrolle kann die Kammer elektrisch geheizt und die dazu erforderliche Stromstärke gemessen werden. Zum Schutz gegen äußere Einflüsse dient ein von einem Röhrenmantel umgebenes Dewarsches Vakuum. Dies Instrument gibt nach Abbot die Strahlungsenergie bis auf $\frac{1}{2}$ Proz. genau an. Neben diesem Standardinstrument ist zu seiner Kontrolle von Abbot noch ein zweites, auf dem Kalorimeterprinzip beruhendes „Water-stir pyrheliometer“ konstruiert worden, und da beide Instrumente gegen Transportanstrengungen sensibel sind, ein sehr dauerhaftes, aber nur relatives Maß angebendes „Silver disk pyrheliometer“¹⁾, welches durch Eichung an die Absolut-

¹⁾ Dasselbe war, vom Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution Washington verglichen und zur Versendung verpackt, vor dem Kriege zu 100 Dollar käuflich.

instrumente angeschlossen werden kann. Das Prinzip dieses Instrumentes ist die Aufnahme der zu messenden Strahlung durch eine geschwärzte Silberscheibe und die Bestimmung der Temperaturerhöhung dieser Scheibe, vermehrt um eine Abkühlungskorrektur gegen die Umgebung; zu seiner schließlichen Anwendung bedarf es nur der gewissenhaften Ablesungen sehr empfindlicher und genau graduierter Thermometer in auf $\frac{1}{5}$ Sekunde genauen Intervallen. Wessen es aber bedurft hat, um dies Prinzip fehlerlos durchzuführen, kann man nur aus der Originalbeschreibung ersehen, welche in den *Annals of the Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution*, Vol. III, p. 52 ff., zu finden ist, zusammen mit der der oben kurz skizzierten, noch viel bewundernswerteren „Water-flow“- und „Water-stir“-Instrumente. Über die Vergleichsproben zwischen den drei Typen lese man *Smithsonian Miscellaneous Collections Washington 1913*, Vol. 60, Nr. 18, nach. Schon vor Abbot hatte K. Ångström¹⁾ ein sehr zuverlässiges Instrument konstruiert, welches er, weil auf der Kompensationsmethode beruhend, „Kompensationspyrheliometer“ getauft hat; in ihm sind zwei gleiche, geschwärzte Manganstreifen derart nebeneinander montiert, daß abwechselnd der eine oder der andere bestrahlt werden kann, während man dem beschatteten die gleiche Wärmemenge durch einen elektrischen Strom zuführt. Die Gleichheit der Wärmemengen kann man mit Hilfe eines kleinen, auf der Rückseite der Streifen elektrisch isoliert befestigten Thermoelementes konstatieren. Sind Flächengröße, Widerstand, Absorptionsgröße der Streifen bekannt, so ergibt sich aus der gemessenen Stromstärke leicht die pro Zeiteinheit zugeführte Kalorienzahl. Das Instrument wird, aufs peinlichste ausgeführt, von der Aktiebolaget J. L. Rose, Upsala, geliefert; die Konstanten werden einheitlich im physikalischen Institut der dortigen Universität bestimmt. Dies Instrument ist seit der Internationalen Meteorologischen Direktorenkonferenz in Innsbruck 1905 an etlichen Zentralobservatorien in regelmäßigem Gebrauch, und es wurde auf der nachfolgenden Oxforder Konferenz von der Internationalen Vereinigung zur Sonnenforschung als Standardinstrument erklärt. Auch heute kann es nach den langjährigen Erfahrungen als solches gelten, doch liegt seine

¹⁾ Wied. Ann. 67, 633—648 (1899).

Skala etwa 3,5 Proz. niedriger als die Abbotsche, wie sich wohl im wesentlichen dadurch erklärt, daß der Streifen vom elektrischen Strom in seinem ganzen Volumen, von der einseitig auffallenden Wärmestrahlung aber nicht bis zur vollen Tiefe gleichmäßig erwärmt wird. Vermittelt des „Silver disk“ sind heute wohl an allen Observatorien die Ångströmschen Instrumente auf die Abbotschen abgestimmt, und es wird wohl jetzt allgemein nach Abbots „Smithsonian Scala Revised 1913“ gerechnet, obwohl es infolge des Abbruchs der internationalen Beziehungen noch nicht zum Gesetz erhoben ist. Als unselbständiges, durch Eichung auf einen Standardtyp zu beziehendes Instrument muß ferner noch Michelsons „Bimetallisches Aktinometer“¹⁾ erwähnt werden; bei ihm liest man die infolge der Strahlenwirkung eintretende Verbiegung einer Bimetalllamelle (auf ein Platinblech von Miniaturgröße elektrolytisch niedergeschlagenes Kupfer) unter dem Mikroskop ab. Die Meßgenauigkeit mit diesem einfach zu handhabenden Instrument ist für praktische Zwecke genügend (unterhalb 2 Proz.). Bei vorsichtiger Handhabung hält sich der Eichfaktor gut, aber eine Revision dieser sekundären Instrumente durch die Standardinstrumente wird von Zeit zu Zeit, insbesondere nach Transporten, unumgänglich nötig sein. In Nordamerika steht im meteorologischen Dienst an etlichen größeren Observatorien das Marwinpyrheliometer, beruhend auf dem Prinzip des elektrischen Widerstandsthermometers. Der Wunsch, die Sonnenintensität zu registrieren, hat stets bestanden: Der von Crova schon in den 80er Jahren in Montpellier konstruierte Aktinograph hat sich das Allgemeinvertrauen nicht erringen können, und nicht viel anders ist es mit dem in den Vereinigten Staaten am meteorologischen Hauptobservatorium auf dem Mount Weather Va. in 540 m Meereshöhe zu Dauerregistrierungen verwandten „Callendarpyrheliometer“, welches übrigens nicht die Sonnenstrahlung allein, sondern die von Sonne + Himmel auf die Horizontalfläche fallende Gesamtstrahlung mißt; wir kommen auf dasselbe noch zurück. Daß bei allen vorher erwähnten Instrumenttypen die der Strahlung ausgesetzte Fläche senkrecht zur Strahlenrichtung eingestellt wird,

¹⁾ Dies lieferte vor dem Kriege die Firma Tauber Zwiatkoff & Co., Moskau, zum Preise von 125 Rubel; in Herrn Geheimrat Michelsons Institut wurde es geprüft und geeicht. Heute wird man sich wohl an die Firma Gustav Schulze, Potsdam, wenden müssen.

also die normal auffallende Strahlung mit ihnen gemessen wird, sei der Ordnung wegen noch nachträglich gesagt. Eins dürfte, so kurz diese Angaben über das sehr penible pyrheliometrische Meßinstrumentarium auch gehalten werden mußten, aus ihnen klar hervorgehen: Das Schwarzkugelthermometer, welches heute noch mancherorten zu praktischem Gebrauch dient und sich stolz „Insolationsthermometer“ nennt, kann zu klimatisch genügend genauen Bestimmungen nicht dienen. Abgesehen von den verschiedenen Modellen (dem deutschen und dem englischen), welche infolge verschiedener Dimensionen ganz gewaltige Unterschiede zeigen, hängen auch die Angaben ein und desselben Instruments derart von der Lufttemperatur und der Strahlung der Umgebung ab, daß sie nicht verwertbar sind. Auch das Arago-Davysche Differentialthermometer — die Verbindung von je einem gleichartigen, im Vakuum ruhenden, geschwärzten und versilberten Kugelthermometer — genügt für Strahlungszwecke nicht¹⁾. Mißlungen sind bisher auch die Versuche, Crookes' empfindliches Radiometer der systematischen Strahlungsmessung dienstbar zu machen.

Ein Wort muß noch über die Tabellierung der Resultate gesagt werden: Hier decken sich die allseitigen Interessen nur, insoweit es die Strahlungssummen betrifft, sie kollidieren aber bei den die Verteilung der Strahlung über Tag und Jahr darstellenden Übersichten. Während für den Gebrauch im täglichen Leben eine Tabellierung nach der Tageszeit die wünschenswerte ist, hat für den Meteorologen und Physiker im wesentlichen nur die Beziehung zwischen Intensität und Sonnenhöhe bzw. durchstrahlter Luftmasse ein Interesse, da sie der Index ist für die atmosphärische Durchlässigkeit. Daher hat an den Observatorien die von Washington ausgegangene Tabellierung nach Luftmassen die weiteste Verbreitung, und das wird wohl so bleiben, solange die Meßresultate mehr Forschungszwecken der spezifischen Wissenschaft als der Allgemeinheit dienen. Nur wenn letztere, und insbesondere die Biologie, voran die Medizin, ihr Interesse scharf betont und sich für eine weite Ausdehnung einheitlich organisierter und überwachter Messungen energisch einsetzt, dürfte hier Wandel eintreten.

¹⁾ Vergleiche hierüber die ausgedehnten Untersuchungen und Erklärungen des Verfassers in seiner „Studie über Licht und Luft des Hochgebirges“. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, S. 37 ff., 1911.

Der soeben erwähnte Grund ist nicht der einzige, welcher es verbietet, hier von verschiedenen Observatorien gewonnenes Einzelmaterial zu sammeln, wir müssen uns mit allgemeinen Erfahrungen und einigen kurzen Beispielen begnügen: Aus dem vorausgegangenen, die spektralanalytische Methode betreffenden Abschnitt wissen wir, daß der Tages- und Jahresgang der Strahlungsintensität in erster Linie von der Sonnenhöhe abhängt. Nehmen wir beispielsweise an, daß bei Zenitsonne das Verhältnis der durchfallenden zur einfallenden Strahlung (nach S. 5 der Transmissionskoeffizient) 0,78 sei, so würde rechnerisch die auf die normale (zu den Strahlen senkrechte) Fläche bzw. die Horizontalfäche fallende Intensität mit sinkender Sonne (zunehmender Weglänge der Strahlen) folgendermaßen abnehmen:

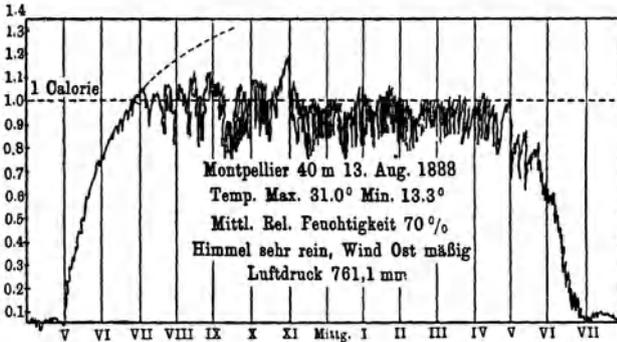
Sonnenhöhe	Zenit 90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	5°	Horiz. 0°
Relative Weglängen .	1,00	1,02	1,06	1,15	1,31	1,56	2,00	2,92	5,7	10,8	45
Relative Intensitäten:											
Auf d. Normalfläche	78	77	76	75	72	68	62	51	31	15	0 Proz.
" " Horizontal- fläche	78	76	72	65	55	44	31	17	5	1	0 "

Der Abfall ist bei großen Sonnenhöhen gering, bei kleinen aber rapide und, des zunehmenden Einfallswinkels wegen, für die Horizontalfäche weit jäher als für die Normalfläche. Nur selten stehen die gefundenen Werte untereinander in dem Verhältnis, welches die Tabelle angibt, denn der tägliche Gang der meteorologischen Elemente und ihr sprichwörtlich bekannter schneller Wechsel bedingen je nach Jahreszeit größere oder kleinere Abweichungen, selbst bei Abwesenheit von Wolken. Das Herannahen einer Depression äußert sich in einer Schwächung der Durchlässigkeit der Luft, dagegen tritt erhöhte Transparenz bei verstärkt absteigenden Luftströmungen auf. Insbesondere ist es der bei hochstehender Sonne und kräftiger Bestrahlung des Erdbodens regelmäßig sich entwickelnde mittägliche Auftrieb, welcher eine Senke der normalen Tageskurve herbeiführt, und zwar (von der von lokalen Bedingungen abhängigen mitgeführten Staubmenge abgesehen) um so mehr, je gesättigter die Luft mit Wasserdampf und je windstillter es ist, denn die vertikale Konvektion ist am

geeignetsten, eine optische Inhomogenität der Luft infolge Schlierenbildung zu verursachen. Wohl ein Extrem zeigt diesbezüglich die im meeresnahen, nur 40 m über dem Meeresspiegel gelegenen Montpellier an einem warmen Augusttage mit Crovas Aktinograph aufgenommene, hier wiedergegebene Kurve ¹⁾.

Auf diese Weise entstehen häufig zwei, durch eine Mittags-senke getrennte, ausgesprochene Tagesmaxima, und meist ist dann, wie auch im vorliegenden Beispiel, die Nachmittagsintensität ein wenig kleiner als die Vormittagsintensität, bezogen auf gleiche Sonnenhöhe. Der mittägliche Auftrieb ist in der warmen Sommerjahreszeit am stärksten, in ihr wird er auch an Hochgebirgs-

Fig. 6.



observatorien beobachtet, und er macht für diese die Sommerjahreszeit zu der ausgesprochen ungünstigsten für optisch-meteorologische und astrophysikalische Untersuchungen, andererseits hindert er, daß die Sonnenstrahlung exzessiv stark wird. Der Jahresgang wird fast überall so gefunden, daß das Maximum trotz der höchststehenden Sonne nicht in den Sommer, sondern meist in das Frühjahr, an einigen amerikanischen Stationen, an welchen er übrigens wenig ausgeprägt ist, in den Winter oder Spätherbst fällt. Erhöhung des Wasserdampfes der Luft schwächt die Strahlung: Westman (Upsala) und Gorczynski (Warschau) fanden, daß der Zunahme des Dampfdruckes um 1 mm eine Abnahme der Sonnenstrahlung um 0,020 bis 0,025 kal. entspricht. Dies würde

¹⁾ Reproduziert nach v. Hanns Lehrb. d. Meteorol. 1915, S. 37.

Tagesgang der mittleren Wärmeintensitäten¹⁾
an den 12 Monatsmitten in Grammkalorien pro min. cm².

Monat	4 ^a u. 8P	5 ^a u. 7P	6 ^a u. 6P	7 ^a u. 5P	8 ^a u. 4P	9 ^a u. 3P	10 ^a u. 2P	11 ^a u. 1P	Mg.
Potsdam.									
Januar . . .	—	—	—	—	0,007	0,628	0,884	1,024	1,061
Februar . . .	—	—	—	—	0,665	0,980	1,112	1,198	1,223
März . . .	—	—	—	0,545	0,876	1,032	1,121	1,171	1,190
April . . .	—	—	0,562	0,951	1,126	1,240	1,305	1,337	1,344
Mai . . .	—	0,364	0,747	0,961	1,104	1,208	1,278	1,310	1,316
Juni . . .	0,056	0,577	0,872	1,047	1,166	1,243	1,294	1,320	1,330
Juli . . .	0,038	0,629	0,897	1,038	1,141	1,216	1,252	1,261	1,265
August . . .	—	0,095	0,564	0,855	1,049	1,167	1,224	1,254	1,258
September . . .	—	—	0,078	0,592	0,872	1,015	1,106	1,156	1,176
Oktober . . .	—	—	—	0,120	0,735	0,984	1,120	1,187	1,205
November . . .	—	—	—	—	0,220	0,779	1,017	1,112	1,140
Dezember . . .	—	—	—	—	—	0,345	0,666	0,824	0,864
Washington.									
Januar . . .	—	—	—	—	0,540	0,930	1,080	1,150	1,160
Februar . . .	—	—	—	0,420	0,930	1,080	1,200	1,260	1,280
März . . .	—	—	—	0,640	0,980	1,130	1,200	1,240	1,260
April . . .	—	—	0,410	0,840	1,000	1,130	1,200	1,240	1,260
Mai . . .	—	0,100	0,620	0,900	1,050	1,140	1,190	1,220	1,230
Juni . . .	—	0,240	0,670	0,940	1,070	1,140	1,180	1,200	1,200
Juli . . .	—	0,240	0,680	0,950	1,050	1,140	1,180	1,200	1,210
August . . .	—	—	0,550	0,860	1,010	1,090	1,130	1,150	1,160
September . . .	—	—	0,220	0,800	0,990	1,110	1,180	1,220	1,230
Oktober . . .	—	—	—	0,400	0,830	1,030	1,130	1,180	1,190
November . . .	—	—	—	0,040	0,700	0,970	1,140	1,210	1,230
Dezember . . .	—	—	—	—	0,510	0,900	1,060	1,130	1,150
Davos.									
Januar . . .	—	—	—	—	—	1,025	1,241	1,330	1,334
Februar . . .	—	—	—	—	—	1,206	1,334	1,390	1,408
März . . .	—	—	—	—	1,082	1,307	1,374	1,418	1,437
April . . .	—	—	—	1,097	1,268	1,370	1,420	1,453	1,444
Mai . . .	—	—	1,087	1,142	1,271	1,323	1,371	1,419	1,418
Juni . . .	—	—	1,054	1,136	1,242	1,324	1,341	1,389	1,398
Juli . . .	—	—	1,105	1,145	1,212	1,246	1,325	1,335	1,338
August . . .	—	—	1,042	1,117	1,264	1,319	1,369	1,385	1,388
September . . .	—	—	—	1,045	1,195	1,310	1,369	1,401	1,404
Oktober . . .	—	—	—	—	1,110	1,221	1,323	1,354	1,398
November . . .	—	—	—	—	—	1,078	1,212	1,284	1,329
Dezember . . .	—	—	—	—	—	0,972	1,131	1,237	1,308

¹⁾ Alle Zahlen beziehen sich auf Ångströms Skala. Die Zeiten sind wahre Sonnenzeiten, müssen also mit Hilfe der Zeitgleichung auf mittlere Ortszeit bezogen werden.

eine geringere Absorptionskraft des Wasserdampfes bedeuten, als sie sich aus Fowles S. 20 erörterter Formel ergibt. Für das etwa in gleicher Höhe mit Mount Wilson gelegene Davos trifft die Formel zu, denn nach Anbringung der aus ihr sich ergebenden Wasserdampfkorrektur berechnen sich aus den Davoser Zahlen die Werte der Solarkonstante in gleicher Größe, wie sie Abbot auf dem Mount Wilson gefunden hat. Die verschiedene Größe der Wasserdampfmoleküle in Höhe und Ebene und unter sonst verschiedenen äußeren Bedingungen kann nach S. 20 nicht ohne Einfluß auf die zerstreuende und wohl auch absorbierende Wirkung des Wasserdampfes sein. Einzelwerte für jeden 15. jeden Monats und für jede volle Stunde erbringt für Washington, Potsdam und Davos die Tabelle auf voriger Seite.

Wir dürfen aus dem Vergleich schließen: Je niedriger die geographische Breite und je höher die Elevation über dem Meeresspiegel ist, um so gleichmäßiger ist das Strahlungsklima. Die Elevation ist dabei wirksamer als die geographische Breite. Als absolute Maxima sind gemessen

in Washington	1,44 (28. April 1909),
„ Potsdam	1,39 (22. April 1909),
„ Davos	1,52 (5. März 1910).

Für die Zunahme der Strahlung mit Erhebung über dem Meeresspiegel sind auch folgende, auf Teneriffa gleichzeitig gemessene, in relativem Maß angegebene Daten beweisend:

Sonnenhöhe	Meter über Meeresniveau		
	350	2225	3683
10°	1	1,34	1,50
30	1	1,18	1,25
80	1	1,11	1,17

In der Luftschicht zwischen dem Mount Weather Va. (530 m) und dem 2 km entfernt, 305 m niedriger gelegenen Trapp wurde bei Sonnenhöhen von 40° bzw. 23° ein Strahlungsverlust von 4 bzw. 6 Proz. festgestellt. Bei einer Höhendifferenz von 1590 m zwischen Santa Fé (2130 m) und dem nahen Lake Peak, New Mexico (3720 m), betrug der Strahlungsverlust 2¹/₂ bis 4 Proz.

Auch zwischen Davos (1600 m) und der über ihm gelegenen Schatzalp (1870 m) ist eine Strahlungsdifferenz von 1 bis 3 Proz., je nach Sonnenhöhe und atmosphärischen Verhältnissen, durch zahlreiche Parallelmessungen festgestellt. Die größten Intensitäten, welche an der Erdoberfläche gemessen sind, dürften die vom Pic von Teneriffa (3683 m) und vom Mount Whitney in Kalifornien (4420 m) übereinstimmend mit $1,64 \frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}$ gemeldeten sein. Im Freiballon hat A. Peppler in 7500 m Meereshöhe bei 299 mm Luftdruck 1,67 gemessen, während die Sonne nur 29° über dem Horizont stand. Mittels des „Silver disk“ im Pilotballon angestellte Registrierungen haben aus 22 km Höhe über eine Sonnenintensität von 1,84 bei 30 mm Luftdruck berichtet. Gegen diese Registriermessungen sind nicht unberechtigte Einwände erhoben. Von Crova und Stankiewicz mit älterem, überholtem Instrumentarium gewonnene, höher lautende Zahlen können auch wohl kaum richtig sein.

Die Strahlungssummen erwecken mit Recht dasselbe Interesse wie die Einzelwerte, und zwar nicht nur die bei einem theoretisch wolkenlosen Himmel geltenden, sondern noch mehr die unter den tatsächlichen Bewölkungsverhältnissen vorhandenen. Durch Multiplikation der 'gemessenen (auf die senkrecht zum Sonnenstrahl stehende Fläche entfallenden) Intensität mit dem Sinus der Sonnenhöhe ist der der horizontalen Fläche auffallende Wert und somit auch die Strahlungssumme leicht bestimmbar. Zur Umrechnung der auf diese Weise erhaltenen „möglichen“ Wärmesummen in die effektiven bedarf es des Zurückgreifens auf den Sonnenscheinautographen und der Einführung der von ihm gezeichneten wirklichen Sonnenscheindauer in die Rechnung. Die auf diese Weise ermittelten, unter Berücksichtigung der Bewölkung in Wirklichkeit auf die Horizontalfläche entfallenden, mittleren täglichen Wärmesummen zeigt für einige, recht verschieden gelegene Orte die Tabelle auf S. 36.

Bei diesen Berechnungen ist der Einfluß der vom Himmel ausgehenden diffusen Wärmestrahlung nicht mit einbezogen; auf sie kommen wir später zurück. Die Strahlungssummen steigen (schon nach diesen wenigen Beispielen) keineswegs wie die Strahlungsintensitäten durchgehend mit Annäherung an den Äquator, wohl aber bleibt ein großer Einfluß der Höhe auch in ihnen er-

Mittlere tägliche solare Wärmemengen. Grammkalorien
pro Quadratcentimeter.

Zeit	Washing- ton	Mont- pellier	Davos	Wien	Kiew	War- schau	Pots- dam	Stock- holm	Spitz- bergen
Geogr. Breite	38° 93	43° 36	46° 48	58° 15	50° 24	52° 13	52° 23	59° 20	79° 55
Januar . .	87	82	74	23	24	15	20	12	0
Februar . .	158	127	118	52	67	27	48	28	0
März . . .	194	184	193	109	99	74	100	67	15
April . . .	286	229	240	189	122	123	213	198	53
Mai	323	296	309	256	318	266	277	313	143
Juni	356	311	340	287	325	279	331	403	127
Juli	361	325	348	284	328	294	273	359	114
August . .	298	295	355	242	306	232	238	231	55
September .	270	225	260	159	227	160	165	137	40
Oktober . .	188	135	164	72	125	59	60	49	0
November .	120	90	93	29	34	13	32	10	0
Dezember .	92	61	61	15	13	5	16	3	0
Mittel . .	228	197	214	143	166	130	148	151	46

Summen in Kilogrammkalorien.

Winter . .	10,01	8,00	7,5	2,61	3,0	1,39	2,46	1,28	0,0
Frühling .	24,59	21,75	22,8	16,97	16,6	14,25	18,08	17,73	6,6
Sommer . .	31,12	28,55	32,0	24,88	29,4	24,69	25,85	30,39	9,1
Herbst . .	17,51	13,64	15,7	7,87	11,7	7,02	7,48	5,95	1,2
Jahr . .	83,23	71,94	78,0	52,33	60,74	47,35	53,87	55,35	16,9

Prozente der für die Breite möglichen Wärmemengen.

Jahr . . .	58	50	55	(53)	49	48	48	(52)	22
------------	----	----	----	------	----	----	----	------	----

kennbar. Würde nicht in Davos infolge seiner geschützten Hoch-
tallage die mögliche Sonnenscheindauer durch die umgebenden
Berge um volle drei Stunden täglich (im Jahresmittel) gekürzt,
so würde die das Verhältnis der wirklichen und der möglichen
Wärmemengen angegebende Zahl der letzten Reihe viel höher als
55 lauten, und sämtliche Davoser Zahlen würden viel höher aus-
fallen, als die auf das südlicher gelegene Washington bezüglichen.
Die Unterschiede der Strahlungssummen sind recht bedeutend:
Trotz seiner eingeschlossenen Tallage empfängt beispielsweise Davos
um 50 Proz. mehr Wärmestrahlung im Jahr als Potsdam. Aus

dieser Tabelle und der vorausgegangenen Tabelle (S. 33) können wir schließen, daß das Strahlungsklima der Höhe in doppelter Hinsicht günstiger ist als das der Ebene, einmal durch größere Intensität, sodann durch günstigere Verteilung der Strahlung über das Jahr. So weist die Wärmesumme der Wintermonate in Davos den dreifachen Wert der Potsdamer auf, während die Wärmesumme des Hochsommers nur ganz wenig größer ist. Die günstige Verteilung über das Jahr gilt, wie wir sehen werden, nicht nur für die direkte Sonnenstrahlung, sondern auch für die Gesamtstrahlung von Sonne + Himmel. Hat man durch genügend lange durchgeführte Beobachtungen die Strahlungskonstanten für die ungeschwächte Sonnenstrahlung für alle Tagesstunden jeden Tages bestimmt, so beantworten dieselben auch mannigfache Fragen, welche das tägliche Leben stellt. So ist beispielsweise für Davos berechnet, welche Kalorienzahl die nach den Haupt-himmelsrichtungen orientierten vertikalen Flächen im Tages- und Jahreslauf zugestrahlt erhalten. Es ergibt sich daraus unter anderem, daß in Davos die Südfront eines Hauses im Winter sechsmal so warm ist als die Ostfront, während sie im Sommer kühler als die Ostfront, nämlich nur drei Viertel so warm ist, und daraus folgt, wie wichtig es für den Luftkurort Davos ist, die Hauptfronten der Häuser nach Süden zu richten. Der Grund dafür, daß die Ostfront im Sommer wärmer ist als die Südfront, liegt nicht — wie man meinen könnte — in der im Sommer auftretenden (winzigen) mittäglichen Depression, sondern in dem Einfallswinkel der Strahlen auf die Hausflächen, welcher im Sommer in den Morgenstunden klein ist, so daß er die Intensität wenig schwächt, mittags aber sehr groß wird, so daß nur eine kleine Komponente der Intensität wirksam bleibt. Man sieht aus diesem Beispiel, daß es sich nicht um totes Zahlenmaterial handelt, sondern daß dasselbe selbst dem praktischen Zwecke einer Bauordnung dienstbar gemacht werden kann, wieviel mehr der Biologie bei Sammlung der Zahlen für Einzelabschnitte, z. B. der Jahreszeiten, der Vegetationsperioden, durch Vergleich der Strahlungsklimata verschiedener Orte, insbesondere aber durch Vergleich der verschiedenen Spektralbezirke der Sonnenstrahlung untereinander.

Die Helligkeitsstrahlung der Sonne. Innerhalb des sichtbaren Spektralteiles wird man meist die photometrische Meßmethode bevorzugen aus doppeltem Grunde: 1. wegen des physiologischen

Einflusses, welchen die Strahlung dieser Wellenlängen auf des Menschen kostbarstes Organ und durch dasselbe auf sein Seelenleben ausübt, 2. weil dies Wunderwerk der Schöpfung trotz seiner vielgestaltigen Reaktionsfähigkeit kaum in einer einzigen derselben an Empfindlichkeit übertroffen wird durch eine physikalische oder chemische Reaktion, welche wir an seine Stelle setzen könnten. Dabei werden die Messungen stets zwei verschiedene Zwecke zu erfüllen anstreben, einmal die Bestimmung der gesamten Helligkeitsempfindung, d. h. der Helligkeit des „weißen“ Lichtes oder des „Äquivalenzwertes“ des gesamten Helligkeitsspektrums, sodann die Bestimmung der Helligkeit einzelner Farbenbezirke. Soweit sich letztere auf vollkommen monochromatisches Licht von Spektrallinienbreite bezieht, hat man infolge der gewaltigen Bedeutung, welche die Spektralanalyse für die Physik und die Naturwissenschaften im allgemeinen gewonnen hat, eine so große Menge erprobter, in der Güte von Einzeleinrichtungen untereinander rivalisierender Instrumente zur Verfügung, daß es keinen Zweck hätte, einzelne derselben hier namhaft zu machen; auf Kayzers Handbuch der Spektroskopie, Bd. I (S. Hirzel, Leipzig 1900), und auf Müllers „Photometrie der Gestirne“ (Wilh. Engelmann, Leipzig 1897) sei verwiesen, wer Rat sucht. Für Messungen der ersteren Kategorie, der gesamten Helligkeit, sind zwei Instrumenttypen bevorzugt: das von F. Martens¹⁾ konstruierte Polarisationsphotometer und L. Webers Milchglasphotometer²⁾. Des letzteren Meßmethode ist insofern die überlegendste, als sie, auf gleiche Sehschärfe abstellend, den praktischen Bedürfnissen unmittelbar Rechnung trägt. Man mißt nach ihr in Grün und Rot und hat, um den Helligkeitsäquivalenzwert zu finden, den Quotienten $\frac{\text{Grün}}{\text{Rot}}$ nur mit dem ihm entsprechenden, aus einer Tabelle zu entnehmenden Faktor k zu multiplizieren, welchen L. Weber, fußend auf dem Gesetz, daß das Verhältnis zweier Lichtstärken eine Funktion des Verhältnisses der Lichtstärken zweier Spektralbezirke ist, für jeden möglichen Quotienten $\frac{\text{Grün}}{\text{Rot}}$ experimentell ein für allemal für sein Instrument festgelegt hat. Bei Anwendung der Methode erhält

¹⁾ Physikal. Zeitschr. 1899, S. 299 bis 303.

²⁾ Wied. Ann. 20, 326 ff.

man also gleichzeitig die Intensitäten der Gesamthelligkeit und des grünen und des roten Spektraltheiles. Das photometrische Einheitsmaß kann in deutschen Landen nur die Hefnerkerze sein, welche in Wirklichkeit keine Kerze ist, sondern eine zylinderlose, von chemisch-einheitlichem Brennstoff (Amylacetat) gespeiste, in allen ihren Dimensionen genau festgelegte und nach Docht- und Flammenhöhe genau kontrollierte Lampe. Sie ist die bestdefinierte, und nach ihrer Abhängigkeit von den äußeren Verhältnissen (Luftdruck, Temperatur, Sauerstoffgehalt der Luft) am genauesten untersuchte Lichtquelle und daher der englischen Kerze und der französischen Carcellampe durchaus überlegen, wenn auch — wie zugegeben — im Gebrauch etwas mühsamer. Es ist und bleibt (auch unter Anwendung aller überhaupt möglichen Kontroll- und Vorsichtsmaßregeln) eine — freilich bequeme — Aushilfe, wenn man die Hefnerkerze ersetzt durch photometrisch auf sie abgestimmte elektrische Lämpchen. Die Lichtstärke der Hefnerkerze ist etwa die einer hellen Kerze. Will man nun mit diesem kleinen Maß die gewaltige Lichtintensität der Sonne messen, so liegt die Schwierigkeit, wie wohl leicht erkennbar, weniger in der Messung selbst, als in der Bestimmung der Lichtschwächung, welche man vorzunehmen genötigt ist, und welche nur durch viele Übergänge zu erzielen ist unter Verwendung von Diaphragmen (Spalten, Blenden) oder rotierenden Sektoren oder Absorptionsmitteln oder Hilfen, welche die Polarisationsfähigkeit des Lichtes bietet. Fehler, welche bei jeder einzelnen dieser Übergangsbestimmungen vorkommen, pflanzen sich unbarmherzig geometrisch fort, und es bedarf daher der Mittelbildung aus einer sehr großen Reihe peinlichst durchgeführter Konstantenbestimmungen, um die Beziehung zwischen Ausgangs- und Endkonstante vollkommen zu sichern.

Neben den photometrischen werden bolometrisch-pyreheliometrische Messungen auch im sichtbaren Spektralteil angewandt; sie erfordern aber ganz besonders peinliche Vorsichtsmaßregeln, weil bei der Kleinheit der auf das Helligkeitsspektrum oder gar auf den Regenbogenfarben entsprechende Ausschnitte entfallenden Energie Fehler, welche durch Strahlung der Umgebung hineingetragen werden, sehr schwer wiegen.

Für Messungen im kurzwelligen Teil des sichtbaren Spektrums sind die photoelektrischen Zellen aufs wärmste zu empfehlen, welche auch im Ultraviolett immer mehr das photographische Ver-

fahren zu ersetzen beginnen. Diese Meßmethode beruht auf der Eigenschaft der Strahlen, vornehmlich der kurzwelligen, aus blanken Metalloberflächen negative Elektrizität in Freiheit zu setzen, wobei bei genügendem Fernhalten störender Einflüsse strenge Proportionalität zwischen wirksamer Lichtintensität und ausgelöstem Photostrom besteht. Am lichtempfindlichsten sind die Alkalimetalle in kolloidaler Modifikation. Im einfachsten Falle wird in hochevakuierten, kugelförmigen Zellen aus Uviolglas eine solche, auf einer Halbkugeloberfläche niedergeschlagene Schicht der Bestrahlung ausgesetzt, während aus einer Akkumulatorenbatterie ein negatives Potential an sie angelegt ist zur Beschleunigung der Geschwindigkeit der austretenden Ionen. Im Sonnenlicht geht alsdann zu der von einem dünnen Platinring gebildeten Anode ein Photostrom der Größenordnung 10^{-6} Amp. über, welcher durch ein Galvanometer geleitet und so gemessen wird. Um geringere Intensitäten, etwa die Strahlung kleiner Himmelsausschnitte, zu bestimmen, muß man zu Zellen greifen, welche mit sehr verdünnten Edelgasen (Helium, Argon) gefüllt sind. In diesen treffen die durch den Photostrom ausgelösten Elektronen auf die Gasmoleküle, setzen aus ihnen infolge Stoßionisation Ionen in Freiheit und erhöhen dadurch den Photostrom um das Hundert- und Mehrfache. Mit Hilfe von hochempfindlichen Zellen dieser Art und von Galvanometern der Empfindlichkeit 10^{-11} kann man bei allen in der Himmelsphotometrie vorkommenden Fällen galvanometrisch messen; es ist gelungen, auf diesem Wege die Intensität der Zenitstrahlung zu bestimmen, selbst wenn die Sonne schon 10^0 unter dem Horizont steht. Bei noch kleineren Intensitäten muß man an Stelle des Galvanometers ein Elektrometer setzen und die Aufladung messen, welche dasselbe durch die ihm zuströmenden Elektronen in der Zeiteinheit erfährt, woraus sich die Stromstärke leicht ableiten läßt. Auf diese Weise werden Ströme bis zur Größenordnung 10^{-14} Amp. und Lichtstärken von etwa 1 millionstel Hefnerkerze bestimmt. Die Astronomie bedient sich dieser Meßmethode seit einigen Jahren mit größtem Erfolg, und die ihr dadurch eröffneten Perspektiven sind noch gänzlich unabsehbar. Selbst noch kleinere Lichtintensitäten bis zu 1 Milliardstel einer Hefnerkerze sind meßbar durch Auszählung der Anzahl der Faden-sprünge des Elektrometers pro Zeiteinheit, denn bei kleinsten Intensitäten erfolgt die Aufladung nicht mehr kontinuierlich,

sondern sprungweise derart, daß die Anzahl der Sprünge proportional der Lichtintensität ist. Hiernach ist die Empfindlichkeit der photoelektrischen Zellenmethode der des menschlichen Auges überlegen, solange die Lichtquelle eine gewisse Ausdehnung besitzt; bei punktförmigem Licht bewahrt das Auge auch hier noch sein Übergewicht, weil sich in ihm die Lichtmenge auf einen sehr kleinen Teil der Netzhaut vereinigt. Wer sich über das Wesen der Photoelektrizität informieren will, sei auf das vortreffliche kleine Sammelbuch von Pohl und Pringsheim: „Die lichtelektrischen Erscheinungen“, Vieweg 1914, hingewiesen; wer die theoretischen und technischen Schwierigkeiten kennen lernen will, welche zu überwinden waren, um die Meßmethode zu einer sicheren auszubilden, und sich erfreuen will an dem, was geniales Forschertalent, ungewöhnliche Geistesschärfe, unermüdliche Arbeit und größte technische Geschicklichkeit hierbei durch die geistige Ehe von Elster und Geitel geleistet haben, der lese ihre Aufsätze in den Jahrgängen 1910 bis 1916 der Physikalischen-Zeitschrift. Die Meßmethode stellt namentlich bei ihrer Anwendung auf kleine Intensitäten Anforderungen an große Sorgsamkeit der Anordnung, scharfe Überwachung der Hilfsinstrumente und Zuleitungen und eine dauernd vorsichtige Handhabung, und verlangt daher allgemeine Übung in physikalischen Arbeiten und eine genügende Beherrschung der Theorie; bei Erfüllung dieser Voraussetzungen bietet diese elegante Meßmethode größte Freude und Genuß. Für stärkere, nicht gar empfindliche Hilfsinstrumente erfordernde Lichtmessungen stellt sich die Anordnung einfach, und die Zellenmethode wird daher heute schon vielfach in der Beleuchtungstechnik gebraucht, zumal sie ein sehr schnelles und wegen ihrer Objektivität sicheres Verfahren bietet. Die Empfindlichkeitskurven der verschiedenen Alkalizellen weichen voneinander ab und steigen steil zu ihrem Maximum an, welches für Rubidium bei etwa $0,460 \mu$, für Kalium bei etwa $0,405 \mu$, für Natrium bei etwa $0,350 \mu$ liegt. Wegen der ungleichen Empfindlichkeit in den einzelnen Spektralbezirken muß man zu genauen Messungen Farbfilter von scharf definierter und genau ausgewerteter spektraler Durchlässigkeit benutzen.

Über die Anwendung, welche die photographische Methode in der atmosphärischen Optik findet, wird erst weiter unten bei Besprechung der Himmelsstrahlung berichtet werden.

Aus der Reihe der bisher bekannt gewordenen Resultate seien zunächst einige Beispiele aufgeführt, welche beweisen sollen, daß die Beobachtungsarbeit nicht ersetzt werden kann durch eine rechnerische Ableitung, wie wir sie S. 21 erörtert haben. So fanden Müller (Potsdam), Abney (Derby), Abbot (Washington) den Transmissionskoeffizienten (nach S. 5 das Verhältnis des durchfallenden zum einfallenden Licht für den Fall, daß die Sonne im Zenit steht) für verschiedene Wellenlängen des sichtbaren Spektrums folgendermaßen:

Wellenlänge ¹⁾	Müller	Abney	Abbot
0,76 μ	—	0,954	0,858
0,68	0,881	0,923	0,827
0,64	0,861	0,904	0,797
0,60	0,840	0,878	0,760
0,54	0,808	0,821	0,727
0,50	0,781	0,765	0,704
0,44	0,706	0,637	0,627
0,40	—	0,522	0,540

und aus jüngerer Zeit seien die folgenden Mittelwerte aus längeren Beobachtungsreihen aufgeführt:

Wellenlänge	Orotava (Teneriffa)	Potsdam	Upsala	Washington
0,720 μ	(0,850)	(0,868)	0,900	0,865
0,686	0,837	0,861	0,889	0,853
0,653	0,818	0,851	0,869	0,828
0,624	0,801	0,840	0,848	0,802
0,600	0,786	0,828	0,834	0,784
0,574	0,776	0,806	0,824	0,769
0,503	0,754	0,777	0,791	0,735
0,475	0,727	0,752	(0,772)	0,706
0,452	0,699	0,726	(0,757)	0,664
0,431	0,666	0,702	—	0,629

¹⁾ Für die Beziehung der aufgeführten Wellenlängen zur Farbe geben die sogleich folgenden, den Farbenwechsel der Sonne dokumentierenden Tabellen (S. 43 bis 44) einen ungefähren Anhalt.

Alle Orte liegen weniger als 100 m über dem Meeresspiegel, und dennoch unterscheidet sich, wie wir aus den Tabellen entnehmen, die mittlere Durchlässigkeit der Luft doch auch im sichtbaren Spektralteil, in welchem die selektive Absorption nur einen sehr geringen Einfluß hat, recht bedeutend von Ort zu Ort.

Die Abhängigkeit der Intensität der verschiedenen Spektralfarben von der Sonnenhöhe (bzw. Weglänge der Strahlen oder Schichtdicke der durchstrahlten Luft) wird deutlich aus folgender, von Abney stammender Tabelle, in welcher er die tatsächlich gemessenen Lichtmengen für vier verschiedene Farben zusammengestellt hat mit der Helligkeit der Sonne, wie sie sich bei einem Transmissionskoeffizienten von 0,84 berechnen würde. In sämtlichen Reihen ist der Wert der extraterrestrischen Strahlung gleich 1 angenommen.

Atmosphärendicke	1	2	3	4	5	6	7	8	32
Entspr. Sonnenhöhe	90°	30°	19,3°	14,3°	11,3°	9,3°	8,3°	7,3°	nahe Horizont
	Lichtmenge								
Rot $A\lambda = 0,76 \mu$	0,95	0,91	0,86	0,81	0,77	0,74	0,71	0,66	0,107
Orange $D\lambda = 0,59$	0,87	0,75	0,65	0,57	0,49	0,48	0,37	0,32	0,001
Blau $F\lambda = 0,49$	0,74	0,54	0,40	0,30	0,22	0,16	0,12	0,09	0,000
Violett $H\lambda = 0,40$	0,51	0,25	0,13	0,07	0,03	0,02	0,01	0,00	0,000
	Helligkeit der Sonne								
Sonne	0,84	0,70	0,59	0,50	0,42	0,30	0,26	0,21	0,002

Man erkennt leicht: In Horizonthöhe verschwinden alle violetten und blauen Strahlen, die Sonne erscheint daher gelbrot, ihre Helligkeit ist nur gleich $\frac{1}{420}$ derjenigen der Zenitsonne.

Aus jüngeren Messungen seien die auf ein- bis mehrjähriger Beobachtungsdauer beruhenden Mittelzahlen von Washington und Davos hinzugefügt, welche sich nicht auf Spektrallinien, sondern auf schmale Spektralausschnitte beziehen (s. Tabelle auf S. 44).

Im Sonnenlicht des hochgelegenen Davos sind bei allen, vornehmlich den niedrigsten Sonnenhöhen die kurzwelligen Strahlen wesentlich reicher vorhanden; die hochstehende Sonne erscheint daher weißlich, die niedrigstehende niemals rot, sondern bei 10° Sonnenhöhe noch hellgelb, bei Horizontsonne dunkelgelb, und ihre Gesamthelligkeit ist selbst bei Sonnenuntergang noch recht

Atmosphärendicke		1	1,5	2	3	4	5	6
Entsprechende Sonnenhöhe		90°	42°	30°	19,3°	14,3°	11,3°	9,3°
Farbe	Optischer Schwerpunkt	Washington						
		Hellblau . .	—	0,788	0,690	0,603	0,471	0,375
		Davos						
Rot	0,650 μ	0,912	0,871	0,832	0,759	0,692	0,631	0,575
Grün . . .	0,520	0,869	0,810	0,755	0,656	0,570	0,496	0,431
Grünblau .	0,465	0,826	0,751	0,682	0,564	0,466	0,385	0,318
Blau . . .	0,415	0,752	0,652	0,565	0,425	0,320	0,240	0,181
Blauviolett .	0,405	0,730	0,624	0,533	0,389	0,284	0,207	0,151

beträchtlich. (Die für Davos unter Grünblau, Blau und Blauviolett aufgeführten Zahlen sind photoelektrisch ermittelt, alle übrigen bisher genannten Zahlen beruhen auf photometrischen Messungen.)

Es sei hier eingeschaltet, daß die Astronomie für die Bestimmung der Sterngrößen und bei ihrer gesamten vergleichenden Photometrie gezwungen ist, die Reduktion der Intensität des Sternenlichtes von einer beliebigen Zenitdistanz auf das Zenit vorzunehmen. Zu diesem Zweck hat G. Müller das mittlere Verhältnis der Intensität jeder beliebigen Zenitdistanz zu der des Zenits durch ausgedehnte, in Potsdam und auf dem Säntis (2500 m) durchgeführte Meßreihen empirisch bestimmt und in sehr bequem zu handhabende logarithmische „Extinktionstabellen“ gefaßt. Dem verschiedenen Spektraltypus der Sterne wird durch das Anbringen eines aus der Erfahrung gewonnenen Faktors Rechnung getragen.

Es möge noch eine Tabelle folgen, welche das Farbenverhältnis des Sonnenlichtes zu dem zu seiner Bestimmung als Grundmaß

λ_{μ}	Himmelslicht		Sonne
	Blauer Himmel	Schleierwolken	
0,69	0,2059	0,2523	0,3064
0,63	0,5304	0,5714	0,6039
0,59	1	1	1
0,53	3,494	3,219	2,537
0,49	9,411	7,388	5,559
0,43	61,63	36,52	19,180

dienenden Hefnerlicht dokumentiert; auf die zweite und dritte Rubrik wird weiter unten eingegangen werden. Die Helligkeit der Wellenlänge $0,59 \mu$ ist bei allen Lichtarten gleich und = 1 gesetzt.

Man erkennt unmittelbar, wieviel reicher an kurzwelligen, wieviel ärmer an langwelligen Strahlen das Sonnenlicht ist, als das Kohlelicht der Hefnerkerze; immerhin können die Messungen sowohl bis zum tiefsten Rot wie auch bis zum Blauviolett mit Sicherheit durchgeführt werden, da das Verhältnis hier etwa 1 : 10 beträgt und ein solches Maß (und bei peinlicher Benutzung auch noch ein kleineres) durchaus genügt.

Den systematischen Einfluß der Höhe illustriert G. Müller durch seine eigenen, in Potsdam und auf Teneriffa in drei verschiedenen Höhenlagen (Orotava, Pedrogil, Alta Vista) photometrisch durchgeführten Messungen unter Hinzuziehung von drei in ähnlichen Höhenlagen von Abbot auf bolometrischem Wege gewonnenen:

λ_{μ}	Washington 10 m	Potsdam 100 m	Orotava 100 m	Mt. Wilson 1780 m	Pedrogil 1960 m	Alta Vista 3260 m	Mt. Whitney 4420 m
0,68	0,827	0,860	0,883	0,931	0,930	0,956	0,952
0,65	0,805	0,849	0,816	0,917	0,920	0,939	0,946
0,60	0,760	0,824	0,786	0,885	0,897	0,910	0,934
0,55	0,736	0,796	0,774	0,872	0,883	0,900	0,919
0,50	0,701	0,774	0,751	0,852	0,866	0,885	0,900
0,45	0,641	0,723	0,696	0,806	0,820	0,847	0,855
0,43	0,601	0,694	0,663	0,778	0,798	0,820	0,824

Müller schließt hieraus: „Von den drei in Meereshöhe bis zu 100 m gelegenen Stationen besitzt Potsdam die günstigsten atmosphärischen Verhältnisse, die Werte von Washington zeigen deutlich die Nähe einer großen Stadt. Die hochgelegenen Stationen Alta Vista und Mt. Whitney zeigen, wie wenig die sichtbaren Strahlen während des Durchganges durch die Erdatmosphäre an Intensität abnehmen: Die roten Strahlen von der Wellenlänge $0,68 \mu$ verlieren bei senkrechtem Durchgange in einer Meereshöhe von 3000 bis 4000 m nur 4 Proz., die blauvioletteten von der Wellenlänge $0,43 \mu$ nur 18 Proz.“

Es ist wohl nicht unnütz, darauf hinzuweisen, daß die drei recht verschiedenartigen Methoden (die photometrische, die bolometrisch-pyrheliometrische und die photoelektrische) zu übereinstimmenden Resultaten führen.

Die absolute Helligkeit der Sonne in photometrischen Einheiten auszudrücken hat man schon früh versucht. Die Schätzungen — von solchen kann man wohl nur sprechen von Bouguers bis zu Exners Zeiten — fielen sicherlich viel zu gering aus, im Gegensatz zu den gewaltigen ersten Überschätzungen der Sonnentemperatur. Fabry kam dann auf Grund seiner Messungen zu dem Resultat, die Beleuchtungsstärke der Zenitsonne betrage 100 000 Meterhefnerkerzen (MHK). Ejnar Hertzsprung berechnete aus der Energiekurve der Hefnerkerze und der extraterrestrischen Sonne eine solche von 150 000 MHK für die extraterrestrische Sonne. Kimball hat unter den nicht sehr günstigen atmosphärischen Bedingungen des Jahres 1913 in Washington bei hochstehender Sonne 122 800 MHK gemessen und der Verfasser auf seiner bevorzugten Berghöhe 146 000 MHK, woraus sich (für die Meereshöhe von 1600 m) 154 000 MHK für die im Zenit stehende Sonne berechnet. Die Zahl bedeutet, daß die Zenitsonne auf der horizontalen Fläche dieselbe Beleuchtungsstärke hervorrufen würde, wie 154 000 in 1 m Abstand von der Fläche aufgestellte Hefnerkerzen. In dem 740 m hoch im württembergischen Schwarzwald gelegenen Freudenstadt fand der Verfasser unter denkbar günstigsten atmosphärischen Bedingungen im Jahre 1911 die Sonne im Mittel um 15 Proz. (bei hoher Sonne weniger, bei niedriger mehr) dunkler als in Davos bei entsprechenden Sonnenhöhen, und in Blankenese bei Hamburg zeigte sie sich bald darauf unter ähnlich günstigen Bedingungen fast 60 Proz. dunkler bei einer mittleren Sonnenhöhe von 40°.

Die Flächenhelle der Sonne beträgt in Davos im Jahresmittel:

Sonnenhöhe	Sekundäre Einheit × 10 ⁶	Sonnenhöhe	Sekundäre Einheit × 10 ⁶
10°	3409,6	40°	6519,1
20	4920,5	50	6764,0
30	6015,4	60	6856,3

und hieraus berechnet sich die der extraterrestrischen Sonne auf 7660 · 10⁶ sekundäre Einheiten = 243 900 primäre Einheiten.

Die scheinbare Helligkeit der Sonnenoberfläche ist also bei hohem Sonnenstande in Davos etwa 6,8 milliardenmal so groß als die einer absolut matten und weißen, von der Hefnerkerze in 1 m Abstand senkrecht beschienenen Fläche (Maß der sekundären Einheit) oder etwa 216 500 mal so groß als die Helligkeit derjenigen Fläche, von welcher 1 qcm ebensoviel Licht ausstrahlt wie die Hefnerkerze (Maß der primären Einheit). Die beiden Maße stehen im Verhältnis von $1 : \pi \cdot 10\,000$.

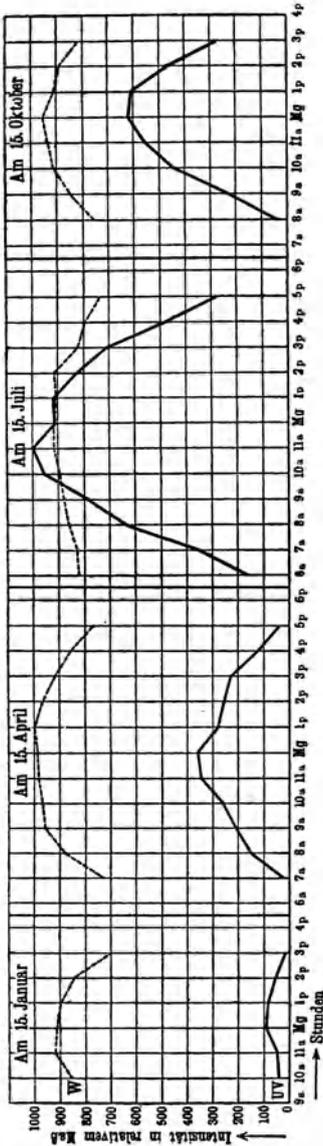
Die Abhängigkeit der Sonnenstrahlung von der Tages- und Jahreszeit und den meteorologischen Elementen ist, von der Wärmestrahlung abgesehen, nur an wenigen Stationen durchgreifend untersucht, und das seit 1912 an mehreren Orten gesammelte Material harrt infolge der Arbeitsunterbrechung durch den Krieg noch der Sichtung. Es muß daher schon gestattet sein, Auszüge aus dem Davoser Material¹⁾ zu bringen, weil es tatsächlich diesbezüglich bisher das einzige einheitliche und umfangreiche ist und geeignet erscheint zur Dokumentierung, wie die Strahlenmessungen in praxi nutzbar gemacht werden können. Es wird hierbei, der besseren Übersicht wegen, auf die schon besprochene Wärmestrahlung zurückgegriffen und vorgegriffen auf die unten folgende ultraviolette Strahlung.

Tages- und Jahresgang: Sobald die Sonne bei im Mittel etwa 10° Sonnenhöhe in Davos über dem Berg erscheint, hat sie außer im Ultraviolett eine schon recht bedeutende Intensität, welche sich bis zum Mittag (im Winter etwas weniger, im Sommer etwas mehr) prozentuell etwa folgendermaßen bei den verschiedenen Strahlungsgattungen steigert:

Strahlenart	Steigerung in Prozenten
Wärme	25
Rot	42
Helligkeit	50
Grün	57
Blauviolett	80
Ultraviolett	450

¹⁾ „Studie“ l. c. und Abhandl. des Preuß. Meteorolog. Instituts 1919, 6, Nr. 303.

Fig. 7.



Das Tagesmaximum fällt nicht streng auf den Mittag, sondern tritt in allen Spektralteilen schwankend zwischen 11 Uhr und 1 Uhr ein, in welcher Zeitspanne alle Intensitäten sich überhaupt nur sehr wenig ändern. Eine kleine mittägliche Depression ist nur an Sommertagen erkennbar, und sie betrifft die Wärmestrahlen und Helligkeitsstrahlen mehr als die kurzwelligen. Die Mittagsintensitäten verhalten sich in den verschiedenen Spektralteilen recht verschieden: Während die mittägliche Wärmestrahlung vom Winter zum Sommer um 10 Proz. zunimmt, gewinnt sie im Rot um 45 Proz., im Helligkeitsspektrum um 60 Proz., im Grün um 90 Proz., im Blauviolett um 250 Proz. und im Ultraviolett um 1000 Proz. Wie die Verhältnisse für die übrigen Tageszeiten liegen, erhellt aus nebenstehender Kurventafel, welche der Übersichtlichkeit wegen nur die am meisten differierenden Wärme- (*W*) und ultravioletten (*UV*) Strahlen berücksichtigt und so konstruiert ist, daß die Jahresmaxima gleich und = 1000 gesetzt sind.

Man erkennt sofort, daß der Jahresgang für die verschiedenen Spektralbezirke ein ganz verschiedener ist, und daß daher die spektrale Zusammensetzung

der Sonnenstrahlung mit der Jahreszeit stark schwankt. Wenn Wärme- und ultraviolette Intensität für den 15. Juli mittags einander gleich gedacht sind, so ist die Wärmeintensität am 15. Januar mittags etwa 10mal so groß, am 15. Januar morgens sogar fast 20mal so groß als die ultraviolette Strahlung. In recht bedeutender Weise unterscheiden sich Frühjahrs- und Herbstsonne, denn letztere ist viel reicher an ultravioletter Strahlung. Die Unterschiede von Vor- und Nachmittagswerten gleicher Sonnenhöhe sind nie groß, außer hier und da im Ultraviolett, und sie liegen in den verschiedenen Monaten in verschiedenem Sinne; im Sommer stehen die Nachmittagswerte den Vormittagswerten nach. An klaren Tagen sind die Schwankungen von Tag zu Tag, auf gleiche Sonnenhöhe bezogen, sehr gering und betragen bei den langwelligen Strahlen einschließlich des Grüns nur wenige Prozente, sie werden aber bei den chemisch wirksamen blauvioletten Strahlen schon merkbar und steigern sich im Ultraviolett, wenngleich sie auch hier stets viel kleiner bleiben als diejenigen, welche der Jahresgang mit sich bringt.

Jahresmittel und Jahresgang in Beziehung zur Sonnenhöhe: Diese Betrachtungsweise gibt Aufschluß über die Durchlässigkeit der Luft, welche in reger Beziehung steht zu den anderen klimatischen Faktoren, Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt und Luftbewegung. Die Jahreskurve fällt von 65° bis 10° Sonnenhöhe bei der

Wärmestrahlung um	23 Proz.
Rot	40 "
Helligkeit	52 "
Grün	60 "
Blauviolett	73 "
Ultraviolett	97 "

Im Jahresgang verhalten sich die verschiedenen Spektralteile recht verschieden: Die von den Absorptionsbanden des Wasserdampfes im Ultrarot stark beeinflusste Wärmestrahlung zeigt in ganz systematischer Beziehung zum Feuchtigkeitsgehalt der Luft ein Maximum im Frühjahr, ein Minimum im Sommer (erstere nicht nur in bezug auf gleiche Sonnenhöhe, sondern sogar den absoluten Zahlen nach) und schwankt maximal etwa $7\frac{1}{2}$ Proz. um den Mittelwert. Noch konstanter verbleibt die Helligkeitsstrahlung der Sonne, sie differiert bei gleicher Sonnenhöhe in den verschiedenen Jahreszeiten kaum mehr als um 5 Proz. des Jahres-

mittels und sie hat, ebenso wie ihre einzelnen Farbenbezirke und das Ultraviolett, ihr Maximum im Winter, ihr Minimum im Sommer. In regelmäßiger Weise erhöhen sich hierbei mit abnehmender Wellenlänge die Amplituden derart, daß sie im Rot und Gelb stets klein bleiben und im Grünblau etwa 10 Proz., im Blau etwa 15 Proz., im Blauviolett etwa 25 Proz., im Ultraviolett etwa 35 Proz. des Mittelwertes betragen; gleichzeitig wandert innerhalb der Jahreszeiten systematisch die Lage der Maxima und Minima mit abnehmender Wellenlänge auf frühere Monate (Maximum des Grünblaus im Februar, des Ultravioletts im Dezember — Minimum des Grünblaus am Juliende, des Ultravioletts am Julibeginn). Die Unterschiede zwischen Frühjahr und Herbst sind im sichtbaren Spektralteil nur gering; die Herbstintensitäten erheben sich über die Frühjahrsintensitäten um so mehr, je kürzer die Wellenlänge wird. Im Ultraviolett ist dieser Unterschied zwischen Herbst und Frühjahr ein sehr bedeutender, denn im September und Oktober steigt die ultraviolette Kurve viel steiler an als die der übrigen Farben. Fassen wir nochmals alles zusammen, so nimmt die Transparenz der Luft in ununterbrochener Weise vom Sommer zum Winter zu und vom Winter zum Sommer ab; energisch wird der Anstieg erst Anfang September, der Abfall im März; die einzelnen Strahlengattungen werden um so mehr beeinflusst, je kurzwelliger sie sind; besonders im Ultraviolett ist der Jahresgang viel stärker ausgeprägt als im sichtbaren Spektrum. Der Jahresgang des Ultrarots ist infolge seiner Abhängigkeit vom Wasserdampfgehalt der Luft ein recht abweichender.

Strahlungssummen: Über die Strahlungssummen der Wärme für das Jahr und die einzelnen Monate unterrichtet die nebenstehende, im Einheitsmaß der Wärme ausgedrückte Tabelle.

Bei senkrechter Inzidenz und klarer Sonne erreicht danach die tägliche Bestrahlung ihr Maximum im Monat Juni mit 967, ihr Minimum im Dezember mit 390; im ganzen Jahre beträgt sie 255 061 gr. kal. Von diesen entfallen auf die horizontale Fläche nur 658 bzw. 113 bzw. 141 992 = 68 bzw. 29 bzw. 55,6 Proz. und bei Berücksichtigung der Bewölkung in Wirklichkeit nur 340 bzw. 61 bzw. 78 113 = 35,2 bzw. 15,5 bzw. 30,6 Proz. der überhaupt möglichen senkrechten Bestrahlung. Nicht der Juni, sondern der August erhält trotz niedrigeren Sonnenstandes in Wirklichkeit, infolge seiner günstigeren Bewölkungsverhältnisse, die größte

Tages-, Monats-, Jahreswärmesummen in Grammkalorien pro cm³

- a) der zur Strahlungsrichtung senkrechten Fläche,
- b) der horizontalen Fläche bei klarer Sonne,
- c) der horizontalen Fläche unter Berücksichtigung der Bewölkung.

	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Jahr
Monatssumme i. Grammkalorien pro cm ³ senkrechter Bestrahlung . . .	12090	12772	14672	20057	25080	29543	29010	29140	27688	23070	18414	13550	255061
Mittlere Tagessumme . . .	390	412	524	647	836	953	967	940	893	769	594	451	8376
Monatssumme i. Grammkalorien pro cm ³ horizontaler Fläche (bei klarer Sonne)	3508	4123	6300	10757	15540	19220	19740	19344	17329	12840	8556	4740	141992
Mittlere Tagessumme . . .	113	133	225	347	518	620	658	624	559	428	276	158	4659
Prozent der senkrechten Bestrahlung	29,0	32,3	43,0	53,6	62,0	65,0	68,0	66,4	62,6	55,7	46,5	35,0	55,6
Wirkliche Monatssumme bei Bewölkung	1875	2297	3254	6048	7227	9588	10312	10825	11021	7818	5131	2817	78113
* Mittlere Tagessumme . . .	61	74	116	195	241	309	340	349	356	261	166	94	2562
Prozent der Bestrahlung für horizontale Fläche	53,5	55,7	51,6	56,2	46,5	49,9	51,7	56,0	63,6	60,9	60,0	59,4	55,0
Prozent der senkrechten Bestrahlung	15,5	18,0	22,2	30,2	28,8	32,4	35,2	37,1	39,8	33,9	27,9	20,8	30,6

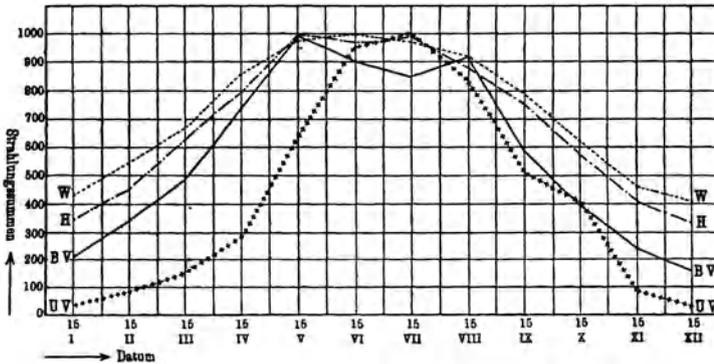
tägliche Wärmesumme zugestrahlt mit 356 (Juni 340). Die geringste Wärmesumme empfängt infolge des Sonnentiefstandes der Monat Dezember, obwohl seine Bewölkungsverhältnisse weit günstiger sind als die der Monate Februar, April, Mai, Juni.

Nach der etwas rohen, aber für praktische Zwecke genügenden Roscoeschen Integrationsmethode¹⁾ sind dann für alle Spektral-

Fig. 8.

Jährlicher Gang der Summen der $\left. \begin{array}{l} \text{----- Wärme- (W)} \\ \text{- - - - - Helligkeits- (H)} \\ \text{———— blauviolett (BV)} \\ \text{+++++++ ultraviolett (UV)} \end{array} \right\} \text{Strahlung der Sonne.}$

(Nach der Roscoeschen Integrationsmethode für den 15. jeden Monats berechnet und gezeichnet unter Gleichsetzung der Maxima = 1000.)



bezirke die Summen für den wolkenlosen Himmel berechnet und zwecks Vergleichs des Jahresganges der Strahlungssummen untereinander für die Wärme-, Helligkeits-, blauviolett und ultravioletten Summen in vorstehender Figur derart zusammengezeichnet, daß die Maxima gleich und = 1000 gesetzt sind (kleine Abweichungen zwischen der vorstehenden Tabelle und Kurve W der Fig. 8 erklären sich durch die Ungenauigkeit der Integrationsmethode).

¹⁾ Nach dieser Methode werden in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die Stunden als Abszissen, die Intensitäten als Ordinaten eingetragen und die nach Ausziehen der entstehenden Kurve von dieser und der Abszissenachse gebildeten Diagramme planimetrisch ausgewertet und durch 24 (entsprechend dem 24stündigen Tage) dividiert.

Während die mittleren täglichen Wärmesummen vom Sommer zum Winter um etwa 58 Proz. sinken, sinken sie im Ultraviolett um volle 95 Proz. Bei allen Strahlungsgattungen überwiegt die Strahlungssumme der ersten Jahreshälfte ein klein wenig die der zweiten, nur im Ultraviolett ist die Summe der zweiten Jahreshälfte ganz wesentlich größer als die der ersten. Eine kleine sommerliche Senke zeigen die Helligkeitssummen.

Über den Einfluß von Wolken auf die direkte Sonnenstrahlung kann folgendes gesagt werden: Cirro-Stratus, welcher in Sonnennähe tritt, ohne die Sonne zu verdecken, kann bei den gebräuchlichen Meßinstrumenten, in welche zusammen mit der Sonne ein kleines Himmelsstück einstrahlt, die Intensitätswerte bis zu 1 Proz. erhöhen. Tritt zarter Cirro-Stratus vor die Sonne, so mindert sich die Intensität um etwa 15 Proz., doch gewinnt der Himmel in unmittelbarer Sonnennähe bis zu 30 Proz. seiner normalen Helligkeit, welche freilich sehr gering ist im Verhältnis zu der der Sonne, und zu dieser bei mittlerer Sonnenhöhe etwa im folgenden Verhältnis steht:

Sonnendistanz	Verhältnis	Sonnendistanz	Verhältnis
0,2 ⁰	1 : 1700	3,0 ⁰	1 : 40 000
0,5	1 : 4 000	5,0	1 : 55 000
1,0	1 : 10 000	10,0	1 : 220 000

Zarte Schleierwolken in Gestalt von feinstem, hohem Stratus erniedrigen die Sonnenstrahlung um etwa 20 Proz. bei gleichzeitiger Erhöhung der Helligkeit des angrenzenden Himmels um etwa 100 Proz. Der in Davos im Winter mittags für kurze Zeit aufsteigende Taldunst beeinträchtigt die Sonnenstrahlung nicht unwesentlich; im Falle dichtesten Auftretens können die kurzweiligen Sonnenstrahlen eine Einbuße von 27 Proz. erleiden, während gleichzeitig der Himmel in Sonnennähe bis zu 10 Proz. dunkler wird. Bei allen diesen Einflüssen haben wir Helligkeitsstufen¹⁾ der Sonne von S_{3-4} bis S_{2-3} im Auge. Bei S_2 haben

¹⁾ S_4 Sonne ganz klar,
 S_3 Sonne leicht verschleiert,
 S_2 Sonne eben noch Schatten werfend,
 S_1 Sonne nur Scheibe erkennbar,
 S_0 Sonne unsichtbar.

wir auf etwa 50 Proz. der normalen Intensität zu rechnen, für S_1 ist eine mittlere Prozentzahl schwer anzugeben, sie mag auf 10 bis 20 Proz. zu schätzen sein. Im allgemeinen dürfte gelten, daß die Sonnenstrahlung in ihrem kurzwelligen Teile mehr als im langwelligen durch Wolken beeinträchtigt wird, von ultraroten Strahlen abgesehen.

Wenn zu diesem Auszuge aus den Davoser Resultaten noch hinzugefügt wird, daß für den praktischen Gebrauch alle Zahlen derart in Tabellen gefaßt sind, daß man für jede Monatsmitte und volle Tagesstunde (vom Morgen bis zum Abend, solange die Sonne am Himmel stehen kann) den ihr zugehörigen Intensitätswert der Wärme-, Helligkeits-, blauvioletten und ultravioletten Sonnenstrahlung entnehmen kann, und daß gleichartige Tabellen melden, wie weit jederzeit sich das Spektrum in das Ultraviolett ausdehnt, welche Helligkeit und chemisch-wirksame (blauviolette) Strahlung von Sonne + Himmel und vom Himmel allein ausgeht (gemessen durch die Beleuchtungsstärke der Horizontalfläche), und wie sich die Zahlen bei Auftreten von Wolken je nach Helligkeitsstufe der Sonne, Bewölkungsgrad und Sonnenhöhe ändern, und daß ein gleiches Material, wenn auch noch untabuliert, für die ultraviolette Strahlung des Himmels vorliegt, auch über die Wärmestrahlung des Himmels einiges gesammelt ist, so dürfte nicht bestritten werden, daß durch Fixierung dieser Normalwerte der Strahlung ein reich verwertbares Material in praktisch leicht zu handhabender Form geboten ist. Geben doch diese Tabellen für alle interessierenden Strahlungsarten die Möglichkeit einer strengen Dosierung nach dem Zeitmaß, unter Berücksichtigung von Tages- und Jahreszeit und damit verknüpfter, eventuell auf Hunderte von Prozenten lautender Unterschiede der Intensität und spektralen Zusammensetzung. Die Arbeit ist unter den günstigen Strahlungsbedingungen des Hochgebirges in Davos im Laufe von etwa drei Jahren durchgeführt; die dabei gesammelten Erfahrungen werden die Arbeitszeit anderer Stationen zu kürzen vermögen, andererseits wird sich dieselbe um so länger ausdehnen, je ungünstiger die klimatischen Bedingungen sind. Die Normalwerte sind, wie fortgesetzte Beobachtungen gezeigt haben, durch den relativ kurzen zwei- bis dreijährigen Turnus der Jahre 1908 bis 1910 mit für praktische Zwecke genügender Sicherheit herausgesprungen; die Konstanz von Jahr zu Jahr ist erstaunlich gut,

von optischen Störungen terrestrischen oder solaren Ursprungs abgesehen, welche noch erörtert werden. Ihren vollen Wert werden diese Zahlen aber erst gewinnen, nachdem sie ergänzt sein werden durch genaue Parallelzahlen anderer Orte, so daß sich eine Übersicht ergibt über die verschiedenen Strahlungsklimata. Sicherlich sind die Unterschiede der Strahlung an verschiedenen Orten viel größer als die aller übrigen meteorologischen Faktoren. Es würde nach den hiesigen Erfahrungen infolge der Konstanz der Strahlungsverhältnisse bei klarer Sonne ein einmaliger gründlicher Beobachtungsturnus zur Fixierung der Normalwerte für alle Zeiten genügen, und es würde, da die Strahlungsverhältnisse im wesentlichen von Höhenlage, Wasserdampf- und Staubgehalt der Luft abhängen, eine relativ geringe Zahl von Stationen genügen, um allgemeine Klarheit zu schaffen. Im Jahre 1912 entwarf der Verfasser im Heft VII der „Veröffentlichungen der Zentralstelle für Balneologie“ unter dem Titel „Vorschläge zum systematischen Studium des Licht- und Luftklimas der den deutschen Arzt interessierenden Orte, gegründet auf ausgedehnte, im Hochgebirge angestellte Beobachtungen“ folgendes Beobachtungsprogramm:

I. Die Untersuchungen hätten sich, nach ihrer Wichtigkeit geordnet, auf folgende Gebiete zu erstrecken:

- a) Gleichzeitige Messungen der Wärme- und ultravioletten Strahlung des direkten Sonnenlichtes;
- b) Helligkeitsmessungen des Gesamtlichtes nach der photometrischen Methode;
- c) Vergleich der direkten Sonnenstrahlung mit der des diffusen Himmelslichtes;
- d) Luftpotelektrische und radioaktive Untersuchungen.

II. Die Untersuchungen wären auszuführen:

An einem Nordseebadeorte (z. B. Wyk).

An Küstenorten der Nord- und Ostsee, etwa Hamburg und Königsberg.

In und bei einer Großstadt Norddeutschlands, z. B. Observatorium bei Potsdam und innerstes Berlin (Industrieviertel).

In Süddeutschland etwa in Karlsruhe oder in Stuttgart oder München.

Ferner im Mittelgebirge, einem auf etwa 400 m gelegenen waldreichen Orte Thüringens (z. B. Tabarz) oder des Harzes (z. B. Braunlage).

Auf dem Schwarzwaldplateau in etwa 800 m Höhe (Freudenstadt oder Königfeld oder Schluchsee).

In Lugano.

An einem Rivieraorte.

In den Tropen (vielleicht eignet sich Samoa).

An einem geeignet gelegenen Orte des sterilen Teiles von Deutsch-Südwestafrika.

In allen Fällen müßten ganze Jahresreihen gefordert werden.

Die spezifisch lokalen Einfüsse, wie sie insbesondere durch die Gestalt des natürlichen Horizontes und den Erdbodenreflex ausgelöst werden, sind mittels eines relativ einfachen Instrumentes, auf welches noch die Rede kommt, von weniger geschulter Hand auf die Normalwerte der Ortshelligkeit leicht mit genügender Genauigkeit reduzierbar.

Dieses vorwiegend im Sinne der Medizin aufgestellte, keineswegs absolut starr gedachte Programm wäre im allgemeinen auch heute noch zu befürworten. Änderungen wären zu erwägen: 1. In methodischer Hinsicht mit Rücksicht auf die entscheidenden Erfolge, welche die sogleich zu besprechende photoelektrische Zellenmethode inzwischen errungen hat. Auch ist bei genügendem Eifer des Beobachters der Aufnahme von Beobachtungen der Himmelpolarisation mittels Savarts Polariskop (vgl. S. 76) das Wort zu reden. 2. In lokaler Hinsicht mit Rücksicht auf die inzwischen mit gleichem Programm errichteten oder geplanten Stationen, über welche öffentlich zu berichten ich mich nicht für befugt halte, und mit Rücksicht auf die zunächst nicht mehr interessierenden außerdeutschen Gebiete, in welchen die siegreichen Nationen über kurz oder lang die in allen Kulturländern als dringlich anerkannten Aufgaben anzufassen zweifellos nicht unterlassen werden. Einzufügen wäre andererseits ein geeigneter Ort im südlichen Hochbayern (vielleicht im Allgäu). Voraussetzung des Gelingens wäre freilich:

Genau abgestimmtes, einheitliches Instrumentarium, Beobachtungs- und Verarbeitungsprogramm, und daher eine einheitliche Zentrale;

synchrone Beobachtungen, denn optische Störungen sind gar nicht selten;

Anwendung absoluten und konstanten, auch für die gebräuchlichen künstlichen Lichtquellen brauchbaren Maßes; physikalisch gut durchgebildetes, arbeitsfreudiges Beobachtungspersonal.

Auch wären die Kosten bei der Feinheit der Beobachtungsinstrumente recht groß, größer aber wäre das Ziel, den die übrigen meteorologischen Elemente im wesentlichen bestimmenden und daher wichtigsten klimatischen Faktor zu charakterisieren und die von der Natur zu physiologischen und therapeutischen Zwecken unmittelbar gebotene Strahlungsquelle zu analysieren. Daß die Sonnenstrahlung weder quantitativ noch qualitativ sich von Ort zu Ort und von Zeit zu Zeit gleichbleibt, haben die obigen Beispiele wohl zur Genüge bewiesen. Durchführbar wäre das Programm nur mit Hilfe der bestehenden meteorologischen und geophysikalischen Hauptobservatorien und unter fester Leitung eines derselben. An dieser Hilfe dürfte nicht zu zweifeln sein, da diese Wissenschaften aus glücklicher Lösung der Aufgabe den unmittelbarsten Vorteil ziehen würden.

Die ultraviolette Strahlung der Sonne. Für Messungen der Sonnenstrahlung im Ultraviolett kommen nur die photographische und photoelektrische Methode in Frage; die bolometrische läßt hier mehr oder weniger im Stich, weil die zu messende Energie gar zu klein ist, nur nämlich etwa 1 Proz. der Gesamtenergie, wie wir uns erinnern. Zur Bestimmung des Transmissionskoeffizienten für verschiedene Wellenlängen im zerlegten Licht bei Anwendung von Quarz- und Flußspatoptik bewähren die photographische und photoelektrische Methode sich gleich gut, und sie führen zu übereinstimmenden Resultaten. Die erstere ist infolge der notwendigerweise sehr peinlich vorzunehmenden Auswertung des Schwärzungsgrades der Platten mühsam und dadurch schwerfällig, daß die Reaktion während der Operation unsichtbar, also das Meßresultat nicht unmittelbar erkennbar ist; bei der letzteren kamen bisher nur Natrium- und Kaliumzellen nach der Auflademethode zur Verwendung.

Zur Bestimmung der Gesamtintensität des ultravioletten Sonnenspektrums genügen die in ausgedehntem Maße angewandten einfachen photographischen Methoden nicht, auch wenn — was

den besten Fall darstellt — mit Hilfe eines die ultravioletten Strahlen absorbierenden Äsculinfilters aus der Differenz der Gesamtreaktion und der vom Blauviolett ausgelösten die allein auf das Ultraviolett entfallende fixiert wird. Über diese zwar sehr einfach zu handhabenden, aber sehr ungenauen Methoden sind wir hinaus dank der Anwendung der Photoelektrizität. Das von Elster und Geitel Anfang der 90er Jahre geschaffene und allmählich weiter vervollkommnete Zinkkugelphotometer¹⁾ bedeutete den ersten großen Erfolg. Die Entladungsgeschwindigkeit einer elektrostatisch geschützt aufgestellten, negativ geladenen amalgamierten Zinkkugel wird an einem mit ihr sicher verbundenen Elektrometer gemessen, bei oder ohne Zuhilfenahme eines Braunschenschen Kondensators. Das kleine, leicht transportable, mit vorzüglicher Bernsteinisolierung und Ablesevorrichtung ausgestattete Instrument liefert die ultraviolette Sonnenintensität in einem relativen Maße, welches abhängig ist von der Kapazität des geladenen Systems und den Dimensionen und der Oberflächenbeschaffenheit der lichtelektrischen Fläche. Wenn auch selbst bei vorsichtiger Handhabung (vor allem bei jeder Einzelmessung wiederholter und gleichmäßig durchgeführter Amalgamierung der Zinkkugel) die Meßgenauigkeit wohl nur 10 Proz. erreicht, so liegt das in erster Linie wohl an der verschiedenen Beschaffenheit der die Kugel umgebenden Luft, insbesondere ihrem Feuchtigkeitsgehalt. Erst nach Einschluß des lichtempfindlichen Metalles in evakuierte oder mit Edelgasen gefüllte Zellen kam der entscheidende Fortschritt, zumal nachdem Elster und Geitel das Zink erfolgreich durch Cadmium ersetzt hatten. Dieses bietet nämlich im Gegensatz zum Zink, welches auch in kleinem Maße auf Strahlen aus dem Blauviolett reagiert, den Vorteil, daß es nur auf reines Ultraviolett (von 366 $\mu\mu$ abwärts) anspricht, und trotzdem werden vor der Sonne die Ausschläge bei Anwendung von argongefüllten Cadmiumzellen so groß, daß sie galvanometrisch meßbar sind. Mit 1 bis 2 Proz. Genauigkeit gelingt es, auf diese Weise zu arbeiten. Bei allen vergleichenden Intensitätsmessungen im Ultraviolett macht sich bisher der große Übelstand geltend, daß ein allgemein anerkanntes Einheitsmaß nicht besteht. Die Hefnerkerze läßt hier im Stich, weil ihre Energie im Ultraviolett minimal ist. Elster

¹⁾ Wiener Berichte II^a, März 1892.

und Geitel haben vorgeschlagen, Heraeus' Quecksilberlampe (Längsachse der Zelle zugewandt) bei 155 Volt 3,5 Amp. als Ab-
 absolutmaß einzuführen, und die allgemeine Annahme dieses Vor-
 schlages würde einen Fortschritt bedeuten. Für grundlegende,
 synchrone Vergleichsmessungen der S. 55 und 56 empfohlenen
 Art würde freilich stets eine genaue Abstimmung der angewandten
 Zellen aufeinander zu empfehlen sein, denn die geringsten, che-
 misch nicht mehr nachweisbaren Spuren von Verunreinigungen
 des Zellenbelages und des Füllgases ergeben bei dieser über alle
 Maßen empfindlichen Meßmethode leicht Fehler, welche, sich
 summierend, die Resultate merklich beeinflussen können.

Über die Energieverteilung innerhalb des extraterrestrischen
 ultravioletten Spektrums läßt sich Zuverlässiges noch nicht aus-
 sagen. Die von Abbot mit seiner bolometrischen Registrier-
 vorrichtung gemessenen Werte können nicht als richtig angesehen
 werden; sie sind augenscheinlich zu hoch infolge Diffusionslichtes
 aus dem intensiveren Spektralteile. Dies wird bewiesen einerseits
 durch die Abweichung der aus ihnen abgeleiteten Transmissions-
 koeffizientenwerte von den nach der photographischen und photo-
 elektrischen Methode übereinstimmend erhaltenen (wesentlich klei-
 neren), und andererseits durch das von Abbot gefundene erneute
 Ansteigen der Energie bei etwa $0,35 \mu$ (s. Fig. 5, S. 16), welches
 aus theoretischen Gründen sehr unwahrscheinlich ist.

Über die atmosphärische Durchlässigkeit für die einzelnen
 Unterteile des ultravioletten Spektrums liegen meines Wissens bisher

Kron, Potsdam (100 m)		Dember, Pic von Teneriffa (3280 m)	
Wellenlänge	Transmissions- koeffizient	Wellenlänge	Transmissions- koeffizient
0,402 μ	0,364	0,400 μ	0,737
0,378	0,494	0,375	0,636
0,362	0,433	0,360	0,596
0,351	0,387	0,350	0,577
0,341	0,354	0,340	0,512
0,333	0,321	0,330	0,451
0,325	0,268	0,320	0,442
0,319	0,238	0,310	0,266
0,311	0,183	0,300	0,176
0,308	0,153	0,285	0,014

nur zwei, auf ausgedehnten Meßreihen beruhende, zuverlässige Resultate vor, nämlich die von Kron in 1911 und 1913 photographisch in Potsdam (100 m) gesammelten Jahresmittel und die von Dember auf dem Pic von Teneriffa (3280 m) photoelektrisch an sieben Herbsttagen des Jahres 1914 gemessenen Tagesmittel. Die Transparenz der Atmosphäre ändert sich nach den bei diesen Messungen gemachten Erfahrungen für diese kurzwelligsten Strahlen von Tag zu Tag lebhafter als für die langwelligeren Strahlen des sichtbaren Spektrums, was in guter Übereinstimmung steht mit den oben gemeldeten größeren Schwankungen ihrer Intensität.

Die die Mittelwerte der Transmissionskoeffizienten darstellenden Zahlen der auf S. 59 stehenden Tabelle, verglichen mit denen der Tabelle S. 45, melden:

Im Ultraviolett läßt die Intensität mit abnehmender Wellenlänge sehr viel schneller nach als im sichtbaren Spektrum.

Mit Erhebung über dem Meeresspiegel wächst die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die ultraviolette Strahlung viel schneller als für die sichtbare.

Besonders klein ist die Durchlässigkeit der Atmosphäre für Wellenlängen unterhalb etwa

324 $\mu\mu$ ¹⁾ in Potsdam, 320 $\mu\mu$ auf dem Pic.

Berechnen wir bei leichter Interpolation aus den Transmissionskoeffizienten für die Wellenlängen 375 $\mu\mu$ und 324 $\mu\mu$ die bei verschiedenen Sonnenhöhen vorhandenen relativen Intensitäten, so erhalten wir:

Sonnenhöhe Wellenlänge	90°	60°	30°	20°	10°
Potsdam 100 m					
375 $\mu\mu$	0,483	0,432	0,234	0,121	0,017
324 $\mu\mu$	0,263	0,214	0,070	0,021	0,001
Pic 3280 m					
375 $\mu\mu$	0,636	0,593	0,405	0,269	0,079
324 $\mu\mu$	0,446	0,394	0,200	0,096	0,011

1) $1 \mu\mu = \frac{1}{1000} \mu$.

Von der extraterrestrischen (einfallenden) Strahlung gelangen also bei 30° Sonnenhöhe von der Wellenlänge 375 $\mu\mu$ nur 40 Proz. bis zum hohen Bergesgipfel und 23 Proz. bis zum Meeresniveau, und von der Wellenlänge 324 $\mu\mu$ nur 20 Proz. bzw. 7 Proz.

Aus der von Kron und Dember gefundenen Beziehung der Wellenlängen zu den Transmissionskoeffizienten folgt, daß sowohl in der Höhe wie auch in der Ebene die Sonnenstrahlen bei ungestörten atmosphärischen Verhältnissen nach dem Rayleighschen Gesetz proportional der vierten Potenz der Wellenlänge zerstreut werden, solange sie nicht kleiner werden als 324 $\mu\mu$ (nach dem Potsdamer Befunde) oder 320 $\mu\mu$ (nach dem Teneriffa-Befunde). Den bei diesen Wellenlängen plötzlich einsetzenden Nachlaß der Intensität sowie das gänzliche Aufhören des Spektrums bei etwa 290 $\mu\mu$ deutet man auf die Absorption durch Ozon, dessen Absorptionsbande etwa bei 320 $\mu\mu$ beginnt und bei 250 bis 260 $\mu\mu$ ihr Maximum erreicht, doch dürften nebenher noch andere Ursachen mitwirken, deren Erörterung hier zu weit führen würde. Die Abhängigkeit des ultravioletten Spektrumendes von der Sonnenhöhe wurde schon S. 18 und 19 erörtert und mit Zahlen belegt, auch wurde erwähnt, daß ein Jahresgang gefunden ist, welcher in den hier folgenden, nur auf die vier Jahreszeiten bezüglichen Werten der in $\mu\mu$ angegebenen Endwellenlängen einen nur unvollkommenen Ausdruck findet, denn nach den Monatsmitteln fallen (bei gleichen Sonnenhöhen) die größten $\mu\mu$ ausgesprochen in den Juli, die kleinsten in den November/Dezember.

Sonnenhöhe Jahreszeit	Sonnenhöhe					
	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Winter	314,0	308,3	306,6	—	—	—
Frühjahr	316,1	308,3	304,3	302,2	297,9	298,4
Sommer	319,0	309,7	305,2	302,4	298,9	297,6
Herbst	311,7	305,0	302,0	300,5	—	—

Ultraviolette Intensität und Spektrumausdehnung gehen nach Monats- und Tagesmitteln stets erstaunlich proportional. Besonders charakteristisch für die Änderung des Spektrumendes ist, daß sie gewissermaßen stoßweise erfolgt: Es liegen nämlich, ebenso wie bei 320 $\mu\mu$, auch bei 314, 310, 305, 300 $\mu\mu$ scharfe Grenzen, an welchen die Intensität plötzlich stark abfällt, und an welchen

kürzere Wellenlängen langsam zu erscheinen beginnen. Ist die erste Wellenlänge der neuen Region erst erschienen, so pflegen dann die anderen derselben Region schnell nachzufolgen. Über die Änderung der Ausdehnung des Sonnenspektrums mit der Höhe fand Cornu auf Grund eines nicht unbedeutenden Beobachtungs- und experimentellen Materials, daß eine Zunahme von $1\mu\mu$ eintritt bei Aufstieg um 868 m. Es besteht noch keine vollkommene Klarheit über die Allgemeingültigkeit dieses Befundes.

Der Jahresgang der ultravioletten Intensität, wie er nach S. 47 bis 50 in Davos gefunden ist, stimmt mit dem von Elster und Geitel in Wolfenbüttel in den Jahren 1889 bis 1891 ermittelten nach Zeit und Größe gut überein. Mehr als die anderen Strahlen sind hiernach die ultravioletten von der Jahreszeit abhängig. Ob die Amplitude des Jahresganges in allen Jahren die gleiche sein wird, muß freilich bezweifelt werden, denn mehr als die anderen Strahlen sind die ultravioletten von der Sonnentätigkeit abhängig, und diese kehrt sich nicht an die Jahreszeit. Es wird darauf noch zurückzukommen sein.

An verschiedenen Orten gefundene Vergleichszahlen über die Gesamtintensität der ultravioletten Sonnenstrahlung sind nur sehr mangelhaft zu erbringen. Die Ursache ist der schon oben erwähnte Mangel eines Einheitsmaßes. Untereinander vergleichbare Zahlen haben bei übereinstimmenden Meßanordnungen F. Exner in Luxor und Wien und H. Mache im Indischen Ozean, Delhi und Ceylon gewonnen. Dieselben ordnen sich der Reihe nach von den größten zu den kleinsten Werten:

Luxor	(März),
Ceylon	(Dezember),
Indischer Ozean .	(Oktober, November),
Wien	(April bis Juni),
Delhi	(November).

Wie die beigefügten Monate zeigen, erstrecken sich die Beobachtungen nur auf kurze Zeiten und verschiedene Jahreszeiten. Aus der großen Abhängigkeit der Werte von der Jahreszeit geht die Unvollkommenheit des Vergleiches hervor. Die Zunahme der Intensität mit der Höhe illustrieren Messungen, welche von Elster und Geitel mit ein und demselben Instrumente bei gleichen Sonnehöhen in Wolfenbüttel (80 m), Kolm-Saigurn (1600 m)

und auf dem Sonnblick (3100 m) vorgenommen worden sind. Die Werte standen im Verhältnis von 40:61:90. Die in Davos gefundenen Resultate sind schon oben gemeldet im Zusammenhange mit den auf das sichtbare Spektrum bezüglichen. Es dürfte sich für zukünftige Messungen empfehlen, die Grenze von 320μ besonders zu beachten, unterhalb welcher die Strahlung sichtlich einem anderen physikalischen Gesetz folgt. Liegt hier vielleicht infolge Anpassung des Organismus der Lebewesen an die durch die Natur gegebenen Bedingungen eine scharf definierte Grenze für die stark bakteriziden Strahlen und für die von der Physiologie aus allgemeinen Erfahrungsgründen unterschiedenen „inneren“ und „äußeren“ ultravioletten Strahlen?

Sonnenschein-Autographen. Um aus den Intensitätsmessungen der Sonnenstrahlung die Strahlungssummen abzuleiten, müssen wir — wie schon oben gestreift — auf die die Zeitdauer der Sonnenstrahlung registrierenden Sonnenschein-Autographen zurückgreifen. Der weitest verbreitete derselben ist der Campbell-Stokessche Glaskugelheliograph, welcher den thermischen Effekt der Sonne ausnutzt, indem er auf einen Registrierstreifen eine Brennspur zeichnet; er wird an den größeren Observatorien ergänzt und kontrolliert durch das den chemischen Effekt der Strahlung ausnutzende Jordansche Instrument, welches auf lichtempfindlichem Blauisenpapier schreibt. Gegen das Instrument ist, nachdem die Kritik einmal eingesetzt hat, ein zu weitgehendes Mißtrauen aufgekommen. Wahr ist, daß, nachdem die englischen genau spezifizierten Heliographen vieler Orten durch neue Typen ersetzt sind und ein — nicht immer aus edlen Motiven hervorgegangener — Wettstreit begonnen hat, möglichst viel Sonnenschein zu registrieren, Differenzen zwischen verschiedenen Glaskugelheliographen vorkommen, welche den Wert der Zeichnungen illusorisch machen. Man muß da aber nicht übersehen, daß nur von amtlichen Stationen gelieferte Aufzeichnungen in die der Wissenschaft dienenden Tabellen übergehen, und daß an solchen Stationen nicht Instrumente stehen, welche der Reklame wegen durch geeignete Glas- und Papierqualität äußerst sensibel gemacht sind. Freilich sind auch die an den amtlichen Stationen verschiedener Länder stehenden Instrumente nicht durchweg einheitlich, ihre Empfindlichkeitsdifferenz hält sich aber in mäßigen Grenzen, und die Empfindlichkeit ist stets mindestens annähernd bestimmt. Kleine, im System

liegende Fehler sind nach peinlichen Untersuchungen allmählich ausgemerzt, anderen — wie einerseits zu geringes Anzeigen bei niedriger Sonne oder bei leichtem, nebelartigem Dunst (infolge zu geringer Empfindlichkeit) und andererseits zu großes Anzeigen bei sehr starken Intensitäten um die Mittagszeit (infolge zu ausgedehnter Brennspur) — wird durch geeignete, aus der Praxis abgeleitete Korrekturen bei der Auswertung der Brennspur Rechnung getragen. So gelingt es, für den Zweck im allgemeinen genügende Resultate zu gewinnen; es kommt im wesentlichen nur darauf an, daß die Auswertung der Brennsuren recht gewissenhaft geschieht. Die dem Jordanschen Instrument anhaftenden Mängel liegen auf anderen Gebieten und sind nicht geringer als die des Campbell-Stokesschen Autographen normal definierten Typs, und daher liegt in allen Ländern fast allen offiziell veröffentlichten Zahlen die Zeichnung des letzteren Instrumentes zugrunde. Seine Minimalempfindlichkeit ist freilich, wie erwähnt, nicht voll genügend, und die Brennsuren liegen unerwünscht eng. Es hat daher an diesbezüglichen Verbesserungsbestrebungen nicht gefehlt, und ein sehr gründlich durchkonstruiertes, Sonnenscheinchronograph getauftes Instrument ist vor einigen Jahren unter J. Maurers Händen entstanden, welchem weite Verbreitung zu wünschen wäre. Es ist Meteorologische Zeitschrift 1914, S. 193, beschrieben. Bei ihm ist die Glaskugel durch eine achromatische Brennlinse, und der kugelschalige Streifenträger durch eine parallaktisch montierte, in der Stunde einmal um ihre Achse rotierende Registriertrommel ersetzt. Es bietet gegenüber dem Campbell-Stokes-Instrument die Vorzüge viel schärfer definierter und um das 15fache verlängerter Brennspur (4 mm pro Zeitminute) und größerer Empfindlichkeit $\left(1,5 \text{ gegenüber } 4,0 \frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}\right)$. Stationen, welche Strahlungsmessungen in der S. 55 bis 56 kurz skizzierten Weise vorzunehmen gedenken, werden gut tun, sich dieses sensiblen Chronographen als Ergänzungsinstrument zu bedienen.

Die Himmelsstrahlung.

Das mathematische Problem der Ableitung von Himmels-helligkeit und Himmelsfarbe aus der extraterrestrischen Sonnenstrahlung und den Gesetzen der atmosphärischen Zerstreuung. Die mathematische Ab-

leitung der Strahlung des Himmels aus der bekannten extraterrestrischen Sonnenstrahlung und den bekannten Gesetzen der atmosphärischen Extinktion und Absorption ist eine sehr schwierige Aufgabe, wie folgende Überlegungen zeigen: Zugleich mit der Netzhaut des Beobachters werden alle, den höchsten wie den niedrigsten Schichten der gesamten oberhalb des Horizontes liegenden Atmosphäre angehörigen Luftteilchen von den direkten Sonnenstrahlen mit einer nach dem Rayleighschen Gesetz leicht errechenbaren Intensität getroffen. Hierdurch zum Mitschwingen angeregt, werden sie selbst zum Zentrum einer neuen Lichtquelle, welche jedoch nicht mehr natürliches, sondern linear polarisiertes Licht nach allen Seiten aussendet, und mit ihm wiederum alle Teilchen der gesamten Atmosphäre erregt, diese wiederum zu Strahlungszentra machend, und so weiter fort ungezählte Male. Gleichzeitig wird also jedes Teilchen außer von den direkten Sonnenstrahlen auch von den von allen anderen Teilchen ausgehenden Strahlen jeder der unendlich vielfachen Diffusionen erreicht, und in der Strahlung, welche es aussendet, ist auch von diesem mehrfach diffundierten Licht wieder ein kleiner Bruchteil enthalten. Für die erste und zweite Diffusion ist die mathematische Formulierung durchführbar, freilich sind die Formeln für die zweite Diffusion schon recht lang und rechnerisch unbequem, außer wenn die Sonne im Horizont steht. In der Natur muß noch eine sehr vielfache Diffusion wirksam sein, andernfalls könnte nicht die Helligkeit des Himmels von derselben Größenordnung sein wie die der Sonne. Der verschiedenen Dichte der Atmosphäre könnte bei der weiteren mathematischen Verfolgung des Problems auch noch Rechnung getragen werden unter der Annahme, daß die Dichtezunahme von den höchsten Höhen bis zur Erdoberfläche überall gleichmäßig geschieht. Die Schwierigkeiten wachsen aber, wenn man die Extinktion berücksichtigen will, welche jeder einzelne von jedem beliebigen Teilchen bei all den vielen Diffusionen ausgesandte Strahl auf dem Wege zu allen übrigen Teilchen erfährt, obwohl auch hier dasselbe Grundgesetz gilt, wie für die erste Diffusion. Bisher haben wir stillschweigend monochromatisches Licht vorausgesetzt, in Wirklichkeit wirkt aber das zusammengesetzte Sonnenlicht, und es findet daher bei jedem einzelnen dieser schwindelhaft zahlreichen Zerstreungsprozesse eine Zerlegung in die verschiedenen Farben proportional der vierten Potenz

der Wellenlänge statt, und nunmehr gilt bei der weiteren Verfolgung der Strahlen nicht mehr ein einheitlicher Transmissionskoeffizient, sondern jedesmal für jede Wellenlänge ein verschiedener. Würde man schließlich, wieviel von jeder Farbe jedes Einzelteilchen in Richtung zum Beobachter aussendet, so wäre hinsichtlich der Schlußwirkung auch noch seine Entfernung vom Beobachter zu bedenken. All dies würde nur für eine ideale, molekular zerstreuende, trockene Atmosphäre gelten. Der Wasserdampf unterliegt, wie wir gesehen haben, auch bei vollkommener Staubfreiheit anderen Zerstreuungsgesetzen, und neben diesen Prozessen der Zerstreuung laufen die der selektiven Absorption, welche wir für mannigfache Gase der Atmosphäre und für den Wasserdampf festgestellt haben. Unter 1000 m Meereshöhe tritt dann (auch in der freien Atmosphäre) die sehr einschneidende Wirkung der Absorption und Zerstreuung durch Staubpartikel hinzu. Hauptsächlich durch diese erklärt sich der große Unterschied der Helligkeit von Bergeshöhe und Flachland, welche wir noch kennen lernen werden; durch molekulare Zerstreuung könnte (von geringen nach dem Weltenraum zurückreflektierten Lichtmengen abgesehen) ein Lichtverlust nicht eintreten, es müßte alles Licht, welches aus der Sonnenstrahlung verloren geht, als Himmelsstrahlung wieder neu erscheinen. Trotz aller Schwierigkeiten ist das Problem unter einschränkenden Bedingungen öfter in Angriff genommen, denn die Feststellung, wieweit sich Beobachtung und Berechnung decken, hat aus mannigfachen Gründen große Bedeutung für die Astrophysik.

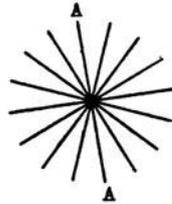
Ein wichtiges Resultat schließt die oben durchgeführte Überlegung mit Sicherheit ein: sie erklärt uns die Ursache der blauen Himmelsfarbe. Je mehr die molekulare Zerstreuung alle anderen Zerstreuungsprozesse überwiegt, und je häufiger sich der Zerstreuungsprozeß wiederholt, um so mehr verlieren sich die langwelligen Strahlen und um so mehr herrscht das Blau vor, denn die Auswahl erfolgt ja proportional der vierten Potenz der Wellenlänge. Wasserdampf, Wassertropfen, Eiskriställchen und besonders der Staub zerstreuen viel weniger selektiv und erbringen daher ein helleres und dem kundigen Auge weniger durchsichtig erscheinendes Blau. Halten wir hierzu noch, daß das reine Blau bei starker Lichtintensität des Himmels (höherem Sonnenstand — niedriger geographischer Breite) himmelblau, bei schwacher

(Bergeshöhe — hoher geographischer Breite) indigofarben wird, und daß in Meeresnähe infolge Reflexion vom hellerblauen Wasserspiegel *ceteris paribus* eine hellere Blaufarbe entstehen muß, so haben wir die mannigfach kombinierbaren hauptsächlichsten Erklärungen beisammen für all die verschiedenen Blaunancen, welche die Naturfreunde sehen und bewegt schildern. Über die Verteilung der Blaufarbe über den Himmel wird noch im Zusammenhange mit der Helligkeitsverteilung zu berichten sein.

Die Polarisation des Himmelslichtes. Es wurde schon oben erwähnt, daß die Zerstreuung der direkten Sonnenstrahlen an den Luftmolekeln unter gleichzeitiger Polarisation stattfindet. Das Himmelslicht ist also im Gegensatz zu dem natürlichen — unpolarisierten — Licht der Sonnenstrahlung polarisiert.

Auf den Unterschied zwischen natürlichem und polarisiertem Licht haben wir unsere S. 25 durchgeführten Betrachtungen der verschiedenen Arten der Ätherstrahlung nicht ausgedehnt, und es muß das daher hier noch kurz nachgeholt werden. Wir haben daselbst nur von transversalen, d. h. in einer zur Strahlenrichtung senkrechten Ebene erfolgenden Schwingungen der Ätherteilchen gesprochen; eine solche kann in mannigfach verschiedener Art statt haben: 1. Geradlinig ohne Bevorzugung irgendeiner Richtung, wie es die beistehende Fig. 9 andeutet, in welcher der Strahl die Zeichenebene senkrecht durchsetzend gedacht ist und sein in der Papierebene gelegenes Ätherteilchen nach allen Richtungen gleich weit um die Mittellage schwingt. In solchem Falle sprechen wir von natürlichem (neutralem) Licht. 2. Geradlinig in einer einzigen Richtung, wie etwa in der mit *AA* in der Figur bezeichneten. — Alsdann ist das Licht total polarisiert, und zwar linear total polarisiert. Es gibt auch in anderer Weise (zirkular) polarisiertes Licht, auf welches wir hier nicht eingehen wollen. Außer dem natürlichen und dem total polarisierten Licht tritt auch solches auf, welches nur teilweise polarisiert ist und das man sich dann zusammengesetzt denken kann aus (der Größe der teilweisen Polarisation entsprechenden) Teilen neutralen und total polarisierten Lichtes. Man pflegt durch ein senkrecht Achsenkreuz mit gleich großen Achsen die nach allen Seiten gleich großen

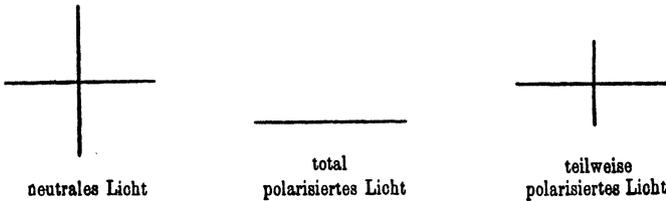
Fig. 9.



Schwingungen des neutralen Lichtes zu bezeichnen und durch nur eine der beiden Achsen, also durch eine gerade Linie das total polarisierte Licht. Alsdann ergibt sich nach der beistehenden Fig. 10 ein senkrechtes Achsenkreuz mit verschieden langen Achsen als Darstellung des teilweise polarisierten Lichtes; die Achsenlängen entsprechen den Amplituden der beiden Schwingungsrichtungen, und dem Quadrat der Amplituden sind die Intensitäten der in diesen Richtungen schwingenden Strahlen gleich. Die größere Amplitude kennzeichnet die Hauptschwingungsebene und die senkrecht zu dieser stehende Ebene bezeichnet man als Polarisationssebene.

Blickt man durch eine parallel zur Säulenachse geschnittene Platte aus Turmalin (einem in Gestalt von sechseckigen Säulen kristallisierenden Halbedelstein) nach einem beliebigen Punkt des

Fig. 10.



blauen Himmels und dreht bei unveränderter Fixierung des Punktes die Platte langsam um die Visierlinie als Rotationsachse, so bemerkt man deutlich eine Änderung der Helligkeit. Liegt der anvisierte Punkt im Vertikalkreis der Sonne (und zwar am günstigsten etwa 90° von dieser entfernt), so erscheint er dann am hellsten, wenn die Kristallachse senkrecht zur Ebene des Sonnenvertikals liegt, und er wird um so dunkler, je weiter die Platte aus dieser Lage um die Visierlinie gedreht wird, um das Minimum der Helligkeit zu erlangen, wenn die Kristallachse in die Ebene des Sonnenvertikals fällt; bei weiter fortgesetztem Drehen nimmt die Helligkeit wieder zu. — Es gibt zwei Maxima, je eins im Ausgangspunkt der Drehung gleich 0° und in 180° , und zwei Minima in 90° und 270° . Der Turmalin hat die Eigenschaft, nur solche Strahlen durchzulassen, welche parallel zu seiner Kristallachse schwingen. Wir erkennen daher aus dem einfachen Experiment 1. infolge des Helligkeitswechsels, daß wir

vom anvisierten Punkt polarisiertes Licht erhalten, 2. infolge der nie bis zur gänzlichen Dunkelheit abfallenden Lichtstärke, daß das Licht nicht ganz, sondern nur teilweise polarisiert ist, 3. infolge des Maximums bei Lage der Kristallachse (Hauptschwingungsebene) senkrecht zum Sonnenvertikal, daß die Polarisationsebene mit dem Sonnenvertikal zusammenfällt. Verbände man eine solche Turmalinplatte in geeigneter Weise mit einem Photometer, so könnte man auf diese freilich recht unbequeme Weise die Lage der Polarisationsebene und die Intensitäten der senkrecht zur Polarisationsebene bzw. in der Polarisationsebene schwingenden Komponenten i_1 bzw. i , also auch die Polarisationsgröße als ihr Verhältnis $\frac{i_1}{i}$ in dem wenig gebräuchlichen Maß Nichols' oder als Verhältnis des polarisierten zum Gesamtlicht $\frac{i_1 - i}{i_1 + i}$ in dem häufigst gebrauchten Maß Rubensons bestimmen. In Wirklichkeit verfährt man anders, wählt nicht das gelblich gefärbte Licht der Turmalinplatte, sondern das weiße von doppelt brechenden Kristallen und benutzt in mannigfacher, oft sehr eleganter optischer Kombination entweder nur einen der beiden senkrecht zueinander polarisierten (ordentlichen bzw. außerordentlichen) Strahlen dieser doppelt brechenden Kristalle als Polarisator in Verbindung mit einem gleichartig gestalteten als Analysator und einer unabhängigen Vergleichslichtquelle, oder beide Strahlen, indem man das Helligkeitsverhältnis der entstehenden Doppelbilder durch einen Analysator ausmißt. Als gebräuchlichste solcher „Polarimeter“ wären die von L. Weber ¹⁾, F. F. Martens ²⁾ und Cornu ³⁾ zu nennen; das erstere derselben liefert in Kombination mit dem Milchglasphotometer in leichter und sicherer Weise nicht nur die Polarisationsgröße, sondern auch die Intensitäten der einzelnen Komponenten in absolutem Maß, welche Unterlagen bieten zur Erklärung der gesamten Polarisationsverhältnisse des ganzen Himmels und ihrer Wechsel mit wechselnder Sonnehöhe und anderen Einflüssen. Eine genaue Beschreibung der Instrumente und ihrer Methoden findet man in dem für die Beobachtungen der atmosphärischen Polarisation als maßgebend

¹⁾ Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Jahrg. 11, S. 6—13 (1891).

²⁾ Phys. Zeitschr. 1, 299—303 (1900).

³⁾ Bulletin de l'assoc. Franc. 1890, p. 267.

zu bezeichnenden Sammelwerk von Busch und Jensen¹⁾, auf welches allgemein jeder verwiesen sei, der sich mit diesen vielseitigen, interessanten Erscheinungen der Himmelpolarisation näher beschäftigen will. Aus ihm sind auch die Figg. 9 bis 12 entnommen. Diese Instrumente sind recht kostbar und auch keineswegs ganz leicht zu gebrauchen; es bedarf einer sehr genauen Bestimmung ihrer Konstanten bzw. Festlegung der Ausgangspunkte, und die Bestimmung der Polarisationsgröße, welche sie mit der Lage der Polarisationsebene vereinigen, interessiert auch nur bei eingehenden Studien der Materie. Dagegen ermöglicht ein durch Billigkeit, Eleganz und Genauigkeit gleich ausgezeichnetes kleines Instrument, das Savartsche Polariskop, in einfacher Weise die Bestimmung der Polarisationsebene und gibt gleichzeitig in gewissen Grenzen gute Schätzwerte für die relative Größe der Polarisation. Es besitzt als Polarisator zwei Quarzplatten, welche unter einem Winkel von 45° gegen die optische Achse herausgeschliffen und so übereinandergelegt sind, daß ihre Hauptschnitte senkrecht zueinander stehen, und als Analysator eine Turmalinplatte. Sehr gründlich ist die keineswegs einfache Erklärung des schönen, aus buntfarbigen Streifen (Fransen) bestehenden Bildes, welches es liefert, von O. Knopf²⁾ gegeben. Schaut man mit diesem Instrument, während der Hauptschnitt der Turmalinplatte mit dem der Quarzplatten einen Winkel von 45° bildet, nach einer teilweise polarisiertes Licht aussendenden Fläche, etwa einer vom Tageslicht erhellten polierten Tisch- oder Glasplatte, so sieht man das Gesichtsfeld von bunten Streifen (Fransen) in stets sich wiederholender Farbenfolge durchzogen, in deren Mitte entweder ein von zwei weißen Streifen eingefasster schwarzer oder ein von zwei schwarzen Streifen eingefasster weißer Streifen steht. Die Lebhaftigkeit der Farbe wechselt, wenn man das Polariskop um die Visierlinie als Achse dreht und ist am größten, wenn die Streifen in der Polarisationsebene verlaufen, in welchem Fall der mittlere Streifen schwarz ist, oder wenn sie senkrecht zu ihr stehen, alsdann der mittlere

¹⁾ Friedrich Busch u. Chr. Jensen, Tatsachen und Theorien der atmosphärischen Polarisation. Jahrb. der Hamburger Wissenschaftl. Anst. XXVIII, 1910.

²⁾ Mitt. d. Ver. v. Fr. d. Astr. u. kosm. Phys. XXVII, S. 87 ff (1917).

Streifen weiß erscheint, während gleichzeitig alle anderen bunten Fransen komplementär gefärbt sind zu den in der ersterwähnten Stellung auftretenden Farben. Bildet die Richtung der Streifen einen Winkel von 45° mit der Polarisationsebene, so tritt wie in der nebenstehenden Fig. 11 ein heller Querstreifen ohne Fransen auf, während an der einen seiner Seiten ein heller, an der anderen ein dunkler Streifen die Mitte des Gesichtsfeldes durchsetzt. Namentlich diese letzte der drei beschriebenen Stellungen ist mit großer Schärfe auffindbar. Das kleine Instrument ist sehr geeignet, um sich schnell über die Polarisationsverhältnisse des Himmels einen allgemeinen Überblick zu schaffen; zu Meßzwecken hat es Chr. Jensen in sehr geschickter Weise aptiert, indem er es auf einen mit geeigneten Visiereinrichtungen versehenen Pendelquadranten gesetzt hat (l. c., S. 293), welcher in einfachster Weise die Höhenlage der anvisierten Punkte genügend sicher abzulesen gestattet.

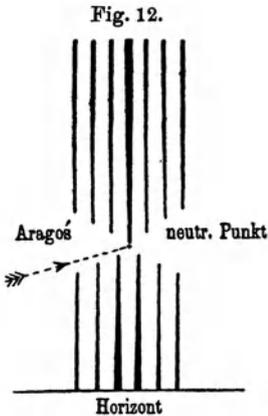
Beobachtet man bei wolkenlosem Himmel, während die Sonne nahe dem Horizont steht, den Vertikalkreis der Sonne bei zum Zenit weisenden, also in dem Vertikalkreis verlaufenden Fransen, so sieht man sie in der Zenitgegend ganz besonders schön gefärbt und deutlich. In der Mitte des Gesichtsfeldes steht der die Lage der Polarisations-ebene unmittelbar anzeigende schwarze Streifen

— Sonnenvertikal und Polarisationsebene fallen hier also zusammen. Farbe und Deutlichkeit nehmen ab, wenn man, bei stets nach dem Zenit weisenden Fransen im Sonnenvertikal verbleibend, vom Zenitpunkt nach dem Horizont zu geht, und zwar auf der Sonnenseite (Süd) schneller als auf der Gegenseite (Nord). In etwa 17° über dem Horizont erfahren die Fransen eine plötzliche Unterbrechung, um jenseits derselben — anfangs schwach, dann an Deutlichkeit zunehmend — wieder aufzutreten, nunmehr jedoch in den komplementären Farben und in der Mitte den weißen, von zwei schwarzen Streifen flankierten Streifen führend, was zu dem Schluß nötigt, daß die Polarisations-ebene hier senkrecht zum Sonnenvertikal liegt. Der Punkt, an welchem — wie in der umstehenden Fig. 12 — die Fransen „umsetzen“, sendet neutrales Licht aus: Wie man auch den Savart um die

Fig. 11.



Visierlinie drehen mag, stets verbleibt an diesem Punkt eine Lücke in den Streifen. Die horizontnahe Himmelszone, in welcher die Polarisationsebene senkrecht zum Sonnenvertikal liegt, nennt man „negativ“ polarisiert, im Gegensatz zu der „positiv“ polarisierten Himmelszone, in welcher Polarisationsebene und Sonnenvertikal zusammenfallen. Von den beschriebenen, bei Sonnenuntergang normalerweise etwa 17° über dem Horizont liegenden beiden Himmelspunkten geht — wie gesagt — neutrales Licht aus; es sind die nach ihren Entdeckern benannten neutralen



Punkte Aragos (*A*) in Nord (Gegenseite) und Babinets (*B*) in Süd (Sonnenseite). Bei höher stehender Sonne tritt noch ein dritter, gleichfalls nach seinem Entdecker Brewster benannter Punkt (*Bw*) unter der Sonne auf, freilich nur, wenn Aragos Punkt schon unter den Horizont gesunken ist. Dieser letztere ist leicht auffindbar, Babinets schon schwerer, während der von Brewster nur an Orten mit reiner Atmosphäre erkennbar ist; im Hochgebirge sieht man ihn bei blauem Himmel stets mühelos. Außerhalb des Sonnenvertikals findet man keine neutralen Punkte: Wohin man auch blicken mag, sieht man die

Fransen auftreten; der blaue Himmel sendet überall teilweise polarisiertes Licht aus, außer von den drei genannten, scharf markierten Punkten. Untersucht man, nachdem man den Savart auf einen Theodolit montiert und mit geeigneten Ablesekreisen versehen hat, die einzelnen Himmelspunkte, so findet man, daß bei blauem Himmel im allgemeinen die Polarisationsebene mit der durch Visierlinie und Sonne führenden Ebene zusammenfällt. Nennenswerte Abweichungen treten nur in der Nähe der Sonne und des Horizontes auf. Man kann auch aus der mit Zunahme des polarisierten Lichtanteils am Gesamtlicht zunehmenden Lebhaftigkeit der Färbung der Fransen schließen, daß die Polarisation in etwa 90° Sonnendistanz am größten ist und von dort aus auf allen durch die Sonne führenden größten Kreisen, also nicht nur im Sonnenvertikal selbst, anfangs langsam, dann schneller abnimmt in Richtung auf die Sonne bzw.

ihren Gegenpunkt in Nord. Führt man den Savart mit stets nach dem Zenit gerichteten Fransen aus dem Sonnenvertikal auf Horizontalkreisen heraus, so findet man auf niedrigen und hohen Horizontalkreisen bald, auf mittleren Horizontalkreisen etwas später, Himmelpunkte, an welchen die Streifen Unterbrechungsstellen zeigen, wie in der Fig. 11. Die Unterbrechungsstellen treten nur auf, wenn — wie in diesem Falle — die Fransen zum Zenit weisen, sie vergehen und das Gesichtsfeld zeigt durchlaufende Streifen, sobald man den Savart um die Visierlinie dreht; es liegen hier also keine neutralen Punkte, wie Anfänger bisweilen glauben, sondern die Unterbrechungsstelle zeigt, wie sich aus obigen Erläuterungen ergibt, nur an, daß an diesem Himmelpunkte die zum Zenit weisenden Streifen einen Winkel von 45° mit der Polarisationsebene bilden, daß also an ihnen die Polarisationsebene den Vertikalkreis unter 45° schneidet. Die alle diese Unterbrechungsstellen anzeigenden Punkte verbindende Isokline von 45° scheidet die Gebiete „positiver“ und „negativer“ Polarisation (mit mehr bzw. weniger als 45° Neigung der Polarisationsebene zum Vertikal, mit schwarzen bzw. weißen Streifen in der Mitte des Gesichtsfeldes des Savart bei vertikal gerichteten Fransen), welche man auch — nur auf die Verhältnisse horizontnaher Punkte abstellend — wenig glücklich mit „vertikaler“ bzw. „horizontaler“ Polarisation bezeichnet, wie man auch — noch weniger glücklich — die Isoklinen von 45° häufig mit „Neutrallinien“ bezeichnet, nur weil an allen ihren Punkten die vertikal gerichteten Fransen des Savart die Unterbrechungsstellen zeigen, wie bei den wahren neutralen Punkten, während sie sonst — wie gesagt — mit diesen gar nichts gemein haben.

Steht nun, wie wir bisher stets angenommen haben, die Sonne etwa im Horizont, so findet man die „Neutrallinien“ [wie in der beistehenden, Davoser Aufnahmen vom 17. Mai 1916 bringenden, in Parallelprojektion auf die Horizontalebene gezeichneten Fig. 13¹⁾] als Lemniskate vom Zenitpunkt zu dem neutralen Punkt Babinets auf der Sonnenseite (Süd, mit *S* bezeichnet) und Aragos auf der Gegenseite (Nord) verlaufen. Die von der Lemniskate eingeschlossenen Himmelszonen haben positive, alle übrigen negative Polarisation. Steigt die Sonne und bewegen sich mit ihr die drei

¹⁾ Am Schlusse des Bandes.

neutralen Punkte, welche wir uns zunächst in stets unverändert bleibendem Abstand von der Sonne denken wollen, von Süd nach Nord (B steigt also zum Zenit, A senkt sich zum Horizont und der noch unter dem Horizont auf der Sonnenseite stehende Bw -Punkt nähert sich dem Horizont), so wird zunächst die Gestalt der Lemniskate deformiert, sie wird in Nord länger und breiter, in Süd kürzer und schmaler, bleibt aber — einer unsymmetrischen Schleife ähnlich — noch geschlossen, bis der A -Punkt bei etwa 20° Sonnenhöhe unter dem Horizont verschwindet (des teilweise beschränkten Horizontes wegen hat der unterste Teil der Kurve bei 20° Sonnenhöhe nicht ganz aufgefaßt werden können). Hat sich — wie in der Figur — bei 40° Sonnenhöhe die Schleife im Norden geöffnet durch Absinken des A -Punktes unter dem Horizont, so verläuft sie teilweise unter dem Horizont und knotet sich neu in Süd unterhalb der Sonne im Bw -Punkt, welcher inzwischen über dem Horizont erschienen ist, während der B -Punkt sich gleichzeitig dem Zenit wesentlich genähert hat. Nunmehr herrscht positive Polarisation in dem sehr verkleinerten geschlossenen Schleifenteil zwischen Zenit und B -Punkt, ferner in dem großen geöffneten Schleifenteil in Nord und auch in dem unterhalb des Bw -Punktes zwischen der schwarz ausgezogenen Linie und dem Horizont in Süd gelegenen Himmelsteil. Die bei 51° Sonnenhöhe aufgenommene (dunkelblaue) Kurve verläuft gänzlich über dem Horizont; negative Polarisation herrscht nur noch an den Himmelsstellen, die begrenzt sind von Kurventeilen, welche vom Zenit zu dem nahen, 63° über dem Horizont stehenden B -Punkt und zum fernen, 41° über dem Horizont stehenden Bw -Punkt führen, während der ganze übrige Himmel positiv polarisiert ist. Man erkennt, daß die Region negativer Polarisation zusammen mit den beiden neutralen Punkten B und Bw im Zenit verschwindet und am ganzen Himmel positive Polarisation herrscht, wenn die Sonne im Zenit steht. Andererseits verkleinert sich, wenn die Sonne unter den Horizont zu sinken beginnt, die Nordseite der Lemniskate bei gleichzeitiger Vergrößerung der Südseite, doch treten hier bald ganz neue Verhältnisse auf. Bei etwa 4° Sonnendepression nähert sich der A -Punkt dem Zenit sehr schnell, oft sprungweise, und bei 6 bis 7° Sonnendepression folgt der B -Punkt seinem Beispiel. Unter besonders günstigen atmosphärischen Verhältnissen hat in Davos sowohl der A - wie auch der B -Punkt bis zu etwa 11°

Sonnendepression verfolgt werden können; sie sind alsdann in 46° bzw. 59° Höhe über dem Horizont gefunden und es ist zu mutmaßen, daß sie sich zusammen mit der ganzen Region der positiven Polarisation bis zum Schluß der astronomischen Dämmerung (18° Sonnendepression = Beginn der Dunkelheit) allmählich in den Zenitpunkt zurückziehen, so daß vor Eintritt gänzlicher Dunkelheit nur negative Polarisation am ganzen Himmel herrscht.

Wir sehen schon aus diesem letzten und krassesten Beispiel, daß die neutralen Punkte keineswegs einen unveränderten Abstand von der Sonne wahren. Während des Tages wird die Entfernung zwischen Sonne und *B*- bzw. *Bw*-Punkt um so größer, je niedriger die Sonne sinkt, doch sind unter normalen Verhältnissen die Änderungen gering, und es sind auch die Sonnendistanzen von *B*- und *Bw*-Punkt nicht wesentlich untereinander verschieden und sie können im Mittel mit etwa 10° bei großer, 12° bei mittlerer Sonnenhöhe (in der Ebene einige Grade mehr) angenommen werden. Bei Dämmerungsbeginn ($6,5^\circ$ Sonnenhöhe) hat sich der Abstand des *B*-Punktes auf etwa 16° vergrößert, und er steigt noch ein wenig, bis die Sonne im Horizont steht, um sich dann um einige Grade zu verkleinern; bei etwa 4° Sonnendepression setzt dann eine erneute Zunahme ein und sie wird bei 6° Sonnendepression häufig sehr groß, wenn sich — wie schon oben erwähnt — der *B*-Punkt sprunghaft dem Zenit nähert. Ebenso wie *B* hat *A* ein sekundäres Maximum des Abstandes vom Gegenpunkt der Sonne (auf diesen bezieht man zweckmäßig die Lage des *A*-Punktes) vor Sonnenuntergang, und zwar etwa bei 12° Sonnenhöhe, ferner ein Minimum nach Sonnenuntergang (etwa bei $1,5^\circ$ Sonnendepression) und einen jähen Anstieg zum absoluten Maximum bei etwa 4° Sonnendepression. Der Charakter des Ganges beider Punktabstände ist also der gleiche, nur besteht eine Phasenverschiebung derart, daß *A* vorausgeht, und die bei ihm auftretenden Amplituden sind nicht ebenso groß wie die des *B*-Punktes.

Der hier in rohen Umrissen gezeichnete charakteristische Gang der neutralen Punkte während der Dämmerung entspricht etwa den mittleren Verhältnissen einer optisch ungestörten Erdatmosphäre. Treten optische Störungen, von welchen noch später die Rede sein wird, auf, seien es solche tellurischen Ursprungs durch Vulkanausbrüche oder solaren bzw. allgemein kosmischen Ursprungs, so ändern sich sowohl die Größe der Punktabstände

wie auch ihr Gang, und diese Änderungen geben durch ihre Art, Größe und zeitlichen Verlauf neben und im Verein mit anderen veränderten optischen Zuständen der Atmosphäre Aufschluß über das eigentliche kosmische oder tellurische Ereignis. So hat die Astro- und Geophysik aus Beobachtungen der Punktabstände schon manche wertvollen Aufschlüsse erhalten. Friedr. Busch hat das Verdienst, durch jahrzehntelang ausdauernde systematische Beobachtungen einen Parallelismus zwischen dem Gang der neutralen Punkte und der Sonnentätigkeit nachgewiesen zu haben; Chr. Jensen ist es gelungen, das Interesse für diese Beobachtungen in fast allen Erdteilen zu erwecken, und bei einheitlicher Organisation, welche vor dem Kriege dem Gelingen nahe war und hoffentlich nur aufgeschoben, nicht aufgehoben ist, bergen diese relativ einfach durchzuführenden Beobachtungen vermutlich die schönsten Früchte. Der Aufschluß, welchen sie über den atmosphärischen Zustand geben, liegt ja zu einem wesentlichen Teile auch auf rein meteorologischem und klimatischem Gebiet, und einen nicht ganz geringen Vorteil zieht aus ihnen die Wetterprognose. In dieser letzteren Hinsicht werden die Beobachtungen zweckmäßig ausgedehnt auf die gesamte Lage der Neutrallinien auch während des Tages, wie sie in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe oben an Hand der Figur geschildert ist. Durch die Beobachtung dieser zeigt sich dem Prognosesteller zu jeder Tageszeit an jedem beliebigen Himmelspunkt die kleinste Änderung der atmosphärischen Durchlässigkeits- und Beleuchtungsverhältnisse — auch eine solche, welche ihren Ursprungsort noch unter dem Horizont hat. Dadurch ausgelöste Verschiebungen der langen Kurvenläufe markieren sich in den Zeichnungen sehr kraß und deutlich, auch wenn die Lage der Polarisationssebene und die Polarisationsgröße nur wenig anormal geändert sind. Daß die Aufschlüsse, welche die Lage der neutralen Punkte und der Neutrallinien über den Durchlässigkeitsgrad der Atmosphäre geben, für die Klimabeurteilung eines Ortes wesentlichen Anhalt bieten, leuchtet ohne weiteres ein, denn von eben diesem Durchlässigkeitsgrad hängt sein Strahlungsklima (hinsichtlich Ein- und Ausstrahlung) direkt ab. Auf Einzelheiten der bisher vorliegenden Resultate kann hier nicht eingegangen werden; nur so viel sei gesagt, daß mit zunehmender Durchlässigkeit die Abstände der neutralen Punkte sich verkleinern und im allgemeinen die Regionen

negativer Polarisation zugunsten der Regionen positiver Polarisation abnehmen. Der Unterschied des Großstadthimmels und des benachbarten freien Landes ist diesbezüglich nicht unbedeutend, ebensowenig der zwischen Höhe und Ebene und anscheinend auch zwischen Binnenland relativ trockener Luft und Küstenland mit wasserdampfreicher Atmosphäre; klar tritt er auch in den Jahreszeiten hervor, indem sich besonders der Sommer unvorteilhaft auszeichnet durch geringe Durchlässigkeit. Einen nicht unbedeutenden Einfluß übt der natürliche Horizont aus: Ein dunkler Horizont vermehrt die positive, ein heller die negative Region. Nicht geringer ist der Einfluß der Bodenbedeckung: Schnee oder heller Kalk- und Sandboden wirkt im gleichen Sinne wie ein heller natürlicher Horizont. Zarter heller Dunst in Erdbodennähe löst ähnliche Effekte aus, wie eine Schneedecke. Auf die mannigfachen Änderungen, welche Wolken am blauen Himmel erbringen, je nach ihrer Helligkeit, Art, Höhe über dem Erdboden und über dem Horizont, Entfernung vom Beobachter und je nach Sonnenhöhe, können wir nicht eingehen, ebensowenig auf den Polarisationszustand der Wolken selbst; wir müssen uns darauf beschränken, zu sagen, daß vom ganz oder teilweise bewölktem Himmel weniger polarisiertes Licht ausgeht als vom blauen Himmel. Angedeutet kann auch nur werden, daß die Polarisation qualitativ (d. h. nach Lage der Polarisationsebene) und quantitativ (d. h. nach der Polarisationsgröße) recht abhängig ist von der Farbe, in welcher beobachtet wird, und zwar in verschiedener Weise an den verschiedenen Stellen des Himmels.

Man hat aus den in der Höhe lebhafter gefärbt erscheinenden Fransen des Savart mehrfach den Schluß gezogen, daß die Polarisation des Himmelslichtes mit der Höhe zunehme. Dieser Schluß ist nicht voll berechtigt. Es erscheinen nämlich die Farben um so lebhafter, je dunkler die anvisierte Fläche ist; daher treten sie ganz auffallend schön vor dem dunkelblauen Hochgebirgshimmel hervor, ohne daß doch (außer bei niedrig stehender Sonne) ein wesentlicher Unterschied der Polarisation bestände. Wie wir aus den Überlegungen des Vorabschnittes wissen, wirken beim Vordringen der Sonnenstrahlen aus der Höhe in die Ebene zwei Ursachen einander entgegen: Einerseits wird um so mehr Sonnenstrahlung zerstreut, je dicker die durchstrahlte Schicht wird, und hierbei muß, da jede Zerstreung mit Polarisation verbunden ist, die

Polarisationsgröße wachsen; andererseits nehmen in den untersten tausend Metern der Erdatmosphäre Staub- und Wasserdampfgehalt schnell zu, und diese übermitteln nur teilweise polarisiertes, ja bisweilen rein neutrales Licht, wie bei starken optisch-atmosphärischen Störungen oder in der Luft der Großstädte, und dies mindert natürlich die Polarisationsgröße. Aus dem ersten Effekt folgt, daß die Polarisation umgekehrt proportional der Helligkeit wachsen müßte, und das ist auch im Hochgebirge in weitem Maße der Fall; der mit den Jahreszeiten verbundene Farbenwechsel des Himmels und der wechselnde Wasserdampfgehalt der Atmosphäre erbringen aber auch hier Abweichungen.

Wir müssen nun noch eingehender erörtern, welchen Anteil an dem vom blauen Himmel ausgehenden Gesamtlicht das polarisierte Licht hat, wie sich dies Verhältnis auf die einzelnen Himmelspunkte verteilt und welche Gesetzmäßigkeiten bei wechselnden Verhältnissen der Sonnenhöhe und anderer Einflüsse zu verfolgen sind. Die Polarisationsgröße wird durch mannigfache, theoretischen Gründen entsprungene Maße ausgedrückt, deren zwei schon auf S. 69 Erwähnung fanden; diese waren das Verhältnis der Intensitäten der senkrecht zur Polarisationssebene bzw. in der Polarisationssebene schwingenden Komponenten $\frac{i_1}{i}$ und das Ver-

hältnis des unpolarisierten zum Gesamtlicht $\frac{i_1 - i}{i_1 + i}$. In den Fig. 14 und 15¹⁾, auf welche im folgenden Bezug genommen wird, sind die blau gedruckten Polarisationswerte in dem ersten der beiden Maße ausgedrückt, die kleine links der Figur stehende Tabelle gibt die entsprechenden Werte des anderen Maßes an. Liest man dieses nicht nach Dezimalen, sondern nach Prozenten, so erhält man das in Nordamerika eingebürgerte, dem praktischen Verständnis am meisten Rechnung tragende Maß. Nach Fig. 14 wären dann beispielsweise in der Maximalzone der Polarisation 73,3 Proz. (entsprechend $\frac{i_1}{i} = 6,50$) des Gesamtlichtes polarisiert. In den Fig. 14 und 15, auf welche noch bei Gelegenheit der Helligkeitsverteilung über den Himmel des näheren eingegangen werden wird, sind die Punkte gleicher Polarisation miteinander verbunden, also die Iso-

¹⁾ Am Schlusse des Bandes.

polaren (blau) gezeichnet, die zugehörigen Werte sind, wie gesagt, in blauem Druck hinzugefügt. Die Figuren, welche sich auf 0° und 60° Sonnenhöhe beziehen, sind in stereographischer Projektion mit zwei Polarkoordinatensystemen gezeichnet, deren je eines das Zenit und die Sonne zum Pol hat. Jenseits des Vertikalkreises, in welchem die Sonne steht, muß man sich die andere Hälfte der Himmelshalbkugel spiegelbildlich unter der Zeichenebene denken.

Zweierlei geht aus diesen stereographischen Projektionen auf den ersten Blick hervor: 1. Die Isopolaren folgen bei allen Sonnenhöhen im allgemeinen in geradezu überraschender Weise den Parallelkreisen, und zwar am Gegenhimmel — sich dem Gegenpol, der Gegen Sonne, zuwendend — ebenso wie am Sonnenhimmel, und 2. ihre Werte nehmen mit Entfernung von der Sonne bis zu 90° Abstand zu, um jenseits desselben wieder zu fallen; die maximale Isopolare folgt daher im allgemeinen dem Äquator. Es nehmen also die Polarisationswerte ebenso wie im Sonnenvertikal auch auf allen Hauptkreisen bis etwa 90° Sonnenabstand zu, um jenseits desselben wieder zu fallen, und sie bleiben auf den Parallelkreisen annähernd unverändert. Die kleinen Abweichungen sind, wie eine nähere Prüfung zeigt, systematischer Natur und äußern sich auf zweifache Weise. 1. Die Isopolaren streben, wenn sie in dickere Schichten kommen, am Sonnenhimmel¹⁾ ein wenig auf Sonne zu, am Gegenhimmel¹⁾ von Sonne fort, und dies zeigt sich bei niedriger Sonne mehr als bei hoher, und um so mehr, je näher die Isopolaren der Sonne bzw. der Gegen Sonne liegen. Diese Abweichungen der Isopolaren bedeuten, daß die Polarisationsgröße um so größer wird, je dicker die Schichten werden, welche sie erreichen. 2. Die Isopolaren gleicher Werte liegen am Gegenhimmel dem Äquator ferner als am Sonnenhimmel. Dies bedeutet, die Polarisationsgröße ist um so größer, je weitere Strecken die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurückgelegt haben. Noch ein Drittes erhellt mit aller Deutlichkeit aus dem Vergleich zu verschiedenen Sonnenhöhen gehöriger Isophotokarten stereographischer Projektion mit den erwähnten zwei Koordinatensystemen: Bezieht man die Isopolaren auf das Koordinatensystem, welches die Sonne zum Pol hat, so ändert sich die Polarisation des Himmels nur beträchtlich, solange die Sonne vom Horizont bis etwa 20°

¹⁾ „Sonnenhimmel“ und „Gegenhimmel“ sind getrennt durch den Äquator.

über denselben steigt. Die Maximalisopolare hat im ersten Falle den Wert 6,50 (= 73,3 Proz. polarisiertes Licht im Gesamtlicht), im zweiten Falle den Wert 3,50 (= 55,6 Proz.) Bei fernerm Sonnenanstieg fällt der Wert der Maximalisopolare nur noch sehr langsam dergestalt, daß er bei 60° Sonnenhöhe 3,20 (= 52,4 Proz.) erreicht, und die Werte der übrigen Isopolaren und ihre Gestalten ändern sich sogar noch weniger. Ganz anders gestaltet sich das Bild, wenn man die Himmelpolarisation auf das Polarkoordinatensystem des Zenits bezieht, sie also von der Horizontalebene aus betrachtet, auf welche der Beobachter festgebannt ist: Als wenig deformierte konzentrische Kreise um die Sonne wandern die vom Sonnenrande bis zum Äquator im Wert zunehmenden, jenseits desselben abnehmenden Isopolaren zusammen mit der Sonne über den Himmel, ihre Lage zur Sonne und ihren Wert erheblich nur ändernd, während die Sonne vom Horizont bis zu 20° Höhe steigt. Immer hochwertigere Isopolaren sinken im Norden fort, nur niedrigwertige erscheinen im Süden, und insbesondere in der Zenitgegend treten niedrige an Stelle der hohen. So nimmt denn, von der Horizontalebene betrachtet, die Polarisation des ganzen Himmels auch während des Sonnenaufstieges von 20° auf 60° in Wirklichkeit dauernd stark ab. Eine Berechnung der Anteile des polarisierten Lichtes am Gesamtlicht des ganzen Himmels hat für das Jahresmittel des wolkenlosen Hochgebirgshimmels folgende Werte ergeben. Von dem normal auffallenden Himmelslicht sind polarisiert:

bei 0° Sonnenhöhe . . .	46	Proz.
„ 20 „ . . .	34	„
„ 40 „ . . .	31	„
„ 60 „ . . .	29	„

Wenn auch bisher wohl noch keine Beweise dafür vorliegen, daß der Polarisationszustand des Lichtes auf biologische Prozesse einen Einfluß hat, so ist doch dieser Frage bisher kaum genügend Aufmerksamkeit geschenkt. E. Fischer hat schon vor mehr als 20 Jahren darauf hingewiesen, daß das Baumaterial unserer gesamten Flora und Fauna mit ganz wenigen Ausnahmen von asymmetrischer Struktur (optisch aktiv) ist. Werden die beiden Komponenten des polarisierten Lichtes in verschiedenem Maße absorbiert? Für eine unter gewissen Verhältnissen deutlich erkennbare verschiedene Färbung hat der Verfasser einige Beispiele

beibringen können. Jedenfalls dürfte die nach obigen Zahlen überraschend große Menge vom Himmel in polarisiertem Zustande ausgesandten Lichtes zu eingehenderen Untersuchungen Anreiz bieten. Gleich weit ausholende Vergleichsmessungen über den Polarisationszustand des Himmels der Ebene liegen noch nicht vor, doch weisen die am Zenitpunkt und am 90° von Sonne im Sonnenvertikal liegenden Punkt umfangreich angestellten Messungen sowie die relativ geringe Verschiedenheit der Lage der Polarisationsebene in Höhe und Ebene darauf hin, daß grundsätzliche Unterschiede nicht vorhanden sind. Die absoluten Maximalwerte der Polarisation sind beispielsweise in Kiel und Davos sehr ähnlich gefunden mit 77,3 Proz. bzw. 80,8 Proz. Anteil des polarisierten Lichtes, und zwar übereinstimmend am Zenitpunkt bei 3° unter dem Horizont stehender Sonne und im Oktobermonat, wenn auch in verschiedenen Jahren. Die Polarisationsgröße steigt nach Sonnenuntergang noch ein wenig an, wenn das Hauptpurpurlicht nicht intensiv auftritt, während sie bei starken Purpurlichterscheinungen bei etwa 2° Sonnendepression eine tiefe Senke aufweist. Wir können uns in die Charakterisierung dieser ebenso interessanten wie vielseitigen Dämmerungsphänomene nicht vertiefen; sie würden zu einer Erörterung des Farbenspiels am gesamten Himmel führen müssen. Auch auf den an den verschiedenen Himmelspunkten verschieden und sehr charakteristisch auftretenden Jahresgang der Polarisationsgröße können wir nicht näher eingehen, zumal er in enger Beziehung zum Jahresgang der Helligkeitsverteilung und der Farben des Himmels steht; wir wollen diesbezüglich nur unter Verweisung auf S. 114 die am meisten unterschiedenen Frühjahrs- und Herbsthimmel folgendermaßen charakterisieren:

Im Frühjahr dunkle, kleine, relativ stark polarisierte Sonnenregion und helle, große, relativ schwach polarisierte Gegenregion — insgesamt geringe und am ganzen Himmel relativ wenig verschiedene Helligkeit, Polarisation und Farbe.

Im Herbst helle, relativ große und schwach polarisierte Sonnenregion und dunkle, relativ kleine, stark polarisierte Gegenregion — insgesamt große und am ganzen Himmel sehr verschiedene Helligkeit, Polarisation und Farbe.

Viel spricht dafür, daß der Jahresgang überall in der gemäßigten Zone ähnlich sein dürfte dem in Davos gefundenen, wenn er auch

an dem von diffusem Licht stark erfüllten Himmel der Ebene nicht ebenso deutlich zum Ausdruck kommen kann.

Kurz erwähnt seien noch zwei aus den jüngsten Beobachtungen des wolkenlosen Himmels herausgesprungene Resultate, deren allgemeine Gültigkeit freilich noch durch Beobachtungen an recht verschieden gelegenen Orten bestätigt werden müßte: 1. Die Polarisationsgröße des Punktes maximaler Polarisation des Sonnenvertikals, welcher stets in oder ganz dicht bei 90° Sonnendistanz liegt, wird häufig, ja vielleicht immer, ein wenig übertroffen von der eines im Nordost- und im Nordwestquadranten etwas weniger als 90° von Sonne entfernten Punktes. 2. In Sonnennähe bis zu 30° oder 40° Sonnendistanz ist der Himmel stets in Rot mehr polarisiert als in Grün; am übrigen Himmel weist die farbige Polarisation einen ausgesprochenen Jahresgang auf: Im Herbst überwiegt die grüne Polarisation die rote bedeutend, im Frühjahr ist die rote größer als die grüne, außer in Horizontnähe. In den Jahreszeiten großer Polarisation herrscht also die grüne, in den Jahreszeiten kleiner Polarisation die rote vor. Daß in Zeiten optischer Störungen die Polarisationsgröße klein gefunden wird, wurde schon oben erwähnt, doch gilt dies meist nur für die der Sonne ferne, stark polarisierte Himmelszone, und auch in dieser können Fälle vorkommen, in welchen sich die verschiedenartigen anormalen optischen Effekte derart übereinander lagern, daß normale Größen vorgetäuscht werden. Solche pseudonormalen Werte konnte der Verfasser während einiger Abschnitte der Störungsperioden 1912/14 und 1916/17 auch für den Gang der Abstände des *A*-Punktes nach Sonnenuntergang und für die Helligkeitsverteilung in unmittelbarer Sonnennähe nachweisen.

Die Wärmestrahlung des Himmels. Betrachten wir nun, in gleicher Weise wie bei der Sonnenstrahlung vom langwelligen zum kurzwelligen Spektralteil fortschreitend, die Himmelsstrahlung nach ihren Hauptwirkungsweisen, so haben wir mit der Wärmestrahlung zu beginnen: Während der Nacht ist die Wärmestrahlung der Atmosphäre sicher und unschwer zu bestimmen, seit K. Ångström sein S. 28 beschriebenes Kompensationspyrheliometer zu diesem Zwecke besonders aptiert hat¹⁾. Jüngst tritt für das so aptierte Instrument der Name „Pyrgeometer“ auf.

¹⁾ Nova acta Regiae Soc. Scient. Upsal. Serie IV, Vol. I, Nr. 2 (1905).

Da bei Himmelmessungen die Platinstreifen notwendigerweise frei exponiert werden müssen, ist dem hierbei gefährlichsten Fehler, der Entstehung von Konvektionsströmen, dadurch vorgebeugt, daß zwei blanke und zwei schwarze Platinstreifen (beide Arten miteinander verbunden und gegeneinander isoliert) angewandt und möglichst dicht beieinander in ein Rähmchen gespannt sind. Dies wird alsdann in horizontaler Orientierung der Strahlung des bis zum natürlichen Horizont freien Himmels ausgesetzt. Da in der Nacht der Wärmestrom stets negativ ist, d. h. Ausstrahlung von der Erde zum Himmel stattfindet, so sind in diesem Falle die schwarzen Streifen die kälteren, und durch sie muß der elektrische Kompensationsstrom geleitet werden, dessen Wärmeäquivalenzwert wie beim Pyrheliometer die Ausstrahlung in Grammkalorien pro Minute und Quadratzentimeter erbringt. Anders Ångström, der würdige Vertreter der dritten Generation dieser um die Strahlungsforschung sehr verdienten Familie, hat das Instrument durch Hinzufügung einer halbkugelförmigen Kappe von 32° Öffnungswinkel und durch praktische Einstellvorrichtung auch zur Ausmessung der Strahlung kleiner Himmelsausschnitte geeignet gemacht¹⁾. Eine Ergänzung erfährt das Pyrgeometer durch den eleganten, aber freilich mit zahlreichen Fehlern behafteten, gleichfalls von K. Ångström erdachten „Tulipan“²⁾. Die Abkühlung einer geschwärzten und daher gegen eine kältere Umgebung stärker ausstrahlenden Oberfläche wird durch Überdestillation quantitativ feststellbarer Mengen von Äther kompensiert. Durch Eichung mittels des Pyrgeometers kann das relative Maß in absolutes gewandelt werden. Tulipan zeigt nicht wie das Pyrgeometer Augenblickswerte, sondern, über die Zeit integrierend, Summen, und je länger die Expositionszeit ist, um so mehr fällt von den zahlreichen, hier nicht zu erörternden instrumentellen Fehlern fort, so daß für über die ganze Nacht währende, aber stets erst nach Sonnenuntergang beginnende und vor Sonnenaufgang endigende Expositionen Messungen mit diesem sehr einfach zu handhabenden Apparate zu empfehlen sind zwecks Ergänzung der Bewölkungsbeobachtungen und zur Deutung des Ganges der Temperatur während der Nacht. Beide Instrument-

¹⁾ Smithsonian. Miscellan. Collect. Vol. 65, Nr. 3. Washington 1915. A Study of the Radiation of the Atmosphere.

²⁾ Nova acta Regiae Soc. Scient. Upsal. Serie IV, Vol. 2, Nr. 8 (1910).

typen lassen leider im Stich, sobald die Sonne erscheint: Tulipan, weil sich seine Außenwände infolge Strahlung und Leitung seitens der Umgebung über die Lufttemperatur erwärmen und weil infolgedessen zu große Äthermengen überdestillieren; das Pyrgometer wegen der selektiven Absorption des blanken Platins für sichtbare Strahlen. Dies reflektiert nämlich nur etwa 70 Proz. der Strahlen von $0,5 \mu$ Wellenlänge (dem ungefähren Mittelwert der Strahlung des diffusen Himmelslichtes), während es 97 Proz. der langwelligen Strahlen (größer als 2μ) zurückwirft. Hierdurch entsteht bei Tagesmessungen ein Fehler bis zu 30 bis 35 Proz., und er ist durch Korrekturen nicht auszumerzen infolge des in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe erfolgenden Wechsels der spektralen Zusammensetzung und der Helligkeitsverteilung. Eine Abhilfe suchten Abbot und Fowle zu schaffen, indem sie die Streifen nicht neben-, sondern übereinander anordneten, dem unteren (blanken) einen geschwärzten halbkugelförmigen Schirm gegenüberstellten und den oberen (schwarzen) gegen den ganzen Himmel bei Ablendung der Sonne exponierten. Abbot schätzt den Fehler bei Messungen mit diesem Instrument auf nur 10 bis 15 Proz., doch wird die Richtigkeit der Schätzung schwer zu beweisen sein. Als zuverlässig müssen die Tagesmessungen angesehen werden, welche Th. Homén in Karislojo (Südfinnland) im Sommer und Herbst 1892 nach einem älteren, von K. Ångström empfohlenen Verfahren mittels zweier kalorimetrischer Körper angestellt hat unter Anwendung sehr ausgedehnter Schutzmaßregeln und recht komplizierter Korrektionsrechnungen.

Bevor wir zur Besprechung der Resultate übergehen, müssen wir uns noch folgendes klar machen: Während für die sichtbaren und ultravioletten Strahlen nur eine Strahlungsrichtung möglich ist, nämlich die vom Himmel zur Erde erfolgende, mit positiv zu bezeichnende Einstrahlung, gibt es für die Wärmestrahlung die Möglichkeit beider Richtungen, ja die zum Himmel gerichtete, als negativ zu bezeichnende Ausstrahlung überwiegt, denn die Erde sendet in sehr bedeutendem Maße Wärmestrahlen aus, deren kleinste Wellenlängen allerhöchstens 2μ betragen dürften, und deren Maximum bei 9 bis 10μ zu suchen sein wird. Trotzdem aber strahlt die Atmosphäre (Lufthülle) dauernd Wärme zur Erde. Diese entnimmt sie zu einem kleinen Teil durch Absorption aus den direkten Sonnenstrahlen, hauptsächlich aber durch Absorption

der von der Erde ausgehenden Strahlen und (am Tage) zu einem dritten Teile aus der Zerstreuung der direkten Sonnenstrahlen. Fassen wir, wie bei den sichtbaren und ultravioletten Strahlen, nur die von der Atmosphäre ausgehende Strahlung ins Auge, so müßten wir unter Wärmestrahlung des Himmels stets diese von oben nach unten gerichtete „Gegenstrahlung der Atmosphäre“ verstehen; betrachten wir dagegen — wie es der auf die Erdoberfläche ausgeübten Wirkung und unseren Messungen entspricht — den Totaleffekt, nämlich die Ausstrahlung zum Weltenraum abzüglich der Gegenstrahlung der Atmosphäre, so sprechen wir von „effektiver Strahlung“, welche des Nachts stets eine „effektive Ausstrahlung“ ist, am Tage aber zu einer „effektiven Einstrahlung“ werden kann, wenn die diffus zerstreuten Sonnenstrahlen hinzutreten. Durch die Ausstrahlung zum Weltenraum, für dessen Temperatur der absolute Nullpunkt von -273°C angenommen werden muß, würde nach Stefans Gesetz die Erdoberfläche bei Abwesenheit der Atmosphäre folgende Wärmequantitäten pro Minute bei den verschiedenen Temperaturen verlieren, vorausgesetzt, daß sie — was annähernd zutreffen dürfte — wie ein schwarzer Körper strahlt:

Temperatur Grad Celsius	Grammkalorien pro Minute und Quadratcentimeter
— 23	0,296
— 13	0,347
— 3	0,403
+ 7	0,467
+ 12	0,500
+ 17	0,537
+ 27	0,615
+ 37	0,710

Diese Zahlen, gekürzt um die für die „effektive Strahlung“ gemessenen Kalorienzahlen, ergeben die Zahlenwerte für die „Gegenstrahlung der Atmosphäre“.

Über die nächtliche Ausstrahlung (die „effektive Ausstrahlung“ während der Nacht) liegt schon ein recht bedeutendes Material vor, für welches die Beispiele in der Tabelle auf S. 86 aufgeführt sein mögen.

	Neapel	Upsala	Wien	Zürich	Rauris	Nord-amerika	Sonnblick	Mount Whitney
Höhe (m)	60	200	220	440	950	1160	3100	4420
Temperatur (°)	22	0—10	19	15	—6	20	—12	—1
Ausstrahlung (kal.)	0,18	0,15	0,15	0,13	0,15	0,17	0,20	0,18

Gegenstrahlung der Atmosphäre

(kal.)	0,40	0,30	0,41	0,39	0,21	0,39	0,12	0,23
--------	------	------	------	------	------	------	------	------

Zur rohen Abschätzung der Absolutwerte der Ausstrahlung vergleiche man sie mit denen der Einstrahlung (S. 33), freilich nicht ohne zu bedenken, daß bei mittleren Sonnenhöhen (30°) nur die Hälfte der letzteren der Horizontalfläche zugute kommt, auf welche sich die Ausstrahlung bezieht. Das Größenverhältnis von Ausstrahlung und Gegenstrahlung der Atmosphäre zueinander zeigt die Tabelle unmittelbar.

Mit Sonnenuntergang setzt die Ausstrahlung lebhaft ein und erreicht ihr Maximum meist nach einer Stunde, um dann langsam zu sinken. Die Amplituden sind nicht gar groß, wohl etwa 15 Proz. des Mittelwertes. Für die Zeit von etwa $\frac{3}{4}$ Stunde vor Sonnenaufgang wird teils ein Minimum, eine „Wärmedämmerung“, gemeldet, teils ein scharf ausgeprägtes Maximum. Die erstere erklärt man durch die Bestrahlung der hohen Luftschichten, die letztere durch eine Abnahme des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft. Zu letzterem steht die Ausstrahlung in ausgeprägter Beziehung derart, daß mit zunehmendem Dampfdruck die Ausstrahlung abnimmt. A. Ångström hat auf Grund seiner sehr ausgedehnten Messungen für diese Beziehung eine Formel aufgestellt, welcher freilich Allgemeingültigkeit kaum zukommen dürfte. Taufall vermindert die Ausstrahlung. Aus den Beziehungen zur Temperatur der Luft ergibt sich, daß die Gesamtstrahlung der Atmosphäre proportional gefunden wird der Strahlung des schwarzen Körpers, und dasselbe ergibt sich auch aus der Verteilung der Ausstrahlung über die verschiedenen Himmelszonen, denn in 90° Zenitdistanz wird die Ausstrahlung gleich Null. In normaler Richtung strahlt nämlich laut Ångströms Messungen eine schwarze Fläche nach den verschiedenen Zenitdistanzen folgendermaßen aus:

Beobachtungsort \ Zenitdistanz	0°	22 $\frac{1}{2}$ °	45°	67 $\frac{1}{2}$ °
	Mount Whitney (Kalifornien), 4420 m. . .	0,0151	0,0151	0,0143
Bassour (Algier), 1160 m.	0,0163	0,0156	0,0139	0,0077

Durch Extrapolation auf 90° Zenitdistanz ergibt sich hieraus, wie gesagt, der Ausstrahlungswert gleich Null — die Atmosphäre strahlt also bei dieser Schichtdicke ebenso wie der schwarze Körper. Die Zahlen der Tabelle melden mit aller Deutlichkeit, daß die normal austretende Ausstrahlung gegen das Zenit am größten ist und um so kleiner wird, je mehr man sich dem Horizont nähert. Betrachtet man die von einer horizontalen Fläche ausgehende Ausstrahlung, so ist sie am größten in Richtung auf 35° bis 45° Zenitdistanz, je nach Wasserdampfgehalt und Luftdruck; auf die von 0° bis 15° über dem Horizont liegende Himmelszone entfällt nur ein kleiner Bruchteil ihrer Ausstrahlung. Tallage oder Bergeshöhe unterscheiden sich also hinsichtlich Ausstrahlung der Horizontalfläche kaum, es sei denn, daß die Berge sehr nahe stehen und selbst starke Strahlungsquellen sind. Faßt man die Ausstrahlung zu den einzelnen Kugelhauben ins Auge, so ergibt sie sich (in relativem Maße) nach Ångström und Homén übereinstimmend etwa zu:

Zenitdistanz	Ausstrahlung gegen die entsprechende Himmelszone
0°—22 $\frac{1}{2}$ °	0,167
0°—45°	0,544
0°—67 $\frac{1}{2}$ °	0,897
0°—90°	1,000

Wolken erniedrigen die Ausstrahlung. Als Anhalt gibt Ångström folgende Zahlen:

Bei klarem Himmel	0,14—0,20	$\frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}$
Himmel vollständig bedeckt mit		
Ci, Ci-Str, Str	0,08—0,16	„
A-Cu und A-Str	0,04—0,08	„
Cu und Str-Cu	0,01—0,04	„

Im allgemeinen ist also die Ausstrahlung um so geringer, je niedriger die Wolken sind. Dunstiger Himmel beeinträchtigt nach Ångströms Angaben die Ausstrahlung nur wenig; für das Hochgebirge trifft das nach des Verfassers Erfahrung nicht zu, es ist geradezu erstaunlich, wie sich auch der feinste Schleier durch einen Niedergang der Ausstrahlung anzeigt. Stets überwiegt in der Nacht die Ausstrahlung; es ist bisher noch von keinem Orte berichtet, daß unter etwelchen Verhältnissen während der Nachtzeit ein positiver, vom Himmel zur Erde führender Wärmestrom gefunden sei. Mit Aufsteigen zu höheren Meereshöhen nimmt die Ausstrahlung anfangs zu, erreicht aber ein Maximum, von welchem sie wieder langsam sinkt, in etwa 2 bis 3¹/₂ km Höhe. Dies geht aus den obengenannten Beispielen und vielen anderen Beobachtungen übereinstimmend hervor; Emden leitet es auch aus seinen klassischen theoretischen Erwägungen und Berechnungen ab, welche auf der Solarkonstante und den Bodentemperaturen und der aus Abbots Beobachtungen abgeleiteten Energie-Albedo 0,37 der Erde als Planeten basieren und die beiden Arten der Strahlung, kurzwellige Sonnenstrahlung und langwellige Atmosphärenstrahlung, gesondert behandeln, wobei beide Strahlungsgattungen als grau mit verschiedenem Absorptionskoeffizienten angenommen werden. Er findet für die Abnahme der Strahlung der Atmosphäre mit der Höhe für eine der wirklichen annähernd entsprechende, polytrophe Atmosphäre bei Temperaturen von -10° , 0° , $+10^{\circ}$ C in $\frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}$:

Höhe km \ Temperatur	0	1000	2000	3000	4000	5540
-10°	0,29	0,21	0,14	0,08	0,05	0,02
0°	0,335	0,27	0,155	0,09	0,05	0,02
$+10^{\circ}$	0,39	0,28	0,18	0,11	0,065	0,03

was, angewandt auf die oben aufgeführten Beispiele, überraschend gut stimmt und zu dem Schluß führt, daß infolge nächtlicher Ausstrahlung die Temperatur am schnellsten in 2250 m Höhe sinkt.

Über die Wärmestrahlung des Tageshimmels muß aus obengenannten Gründen mit Vorbehalt berichtet werden. Die

sichersten Zahlen Homéns besagen, daß in Finnland im Sommer und Frühherbst an wolkenlosen Tagen stets Ausstrahlung, an bedeckten Tagen stets Einstrahlung statthatte, und daß in allen Nächten, ganz gleich, ob bedeckten oder unbedeckten Himmels, stets die Ausstrahlung überwog. An klaren Tagen betrug die Ausstrahlung um die Mittagszeit gut so viel wie in klaren Nächten $(0,2 \text{ bis } 0,3 \frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2})$, an bedeckten Tagen überwog die Vormittageinstrahlung diejenige des Nachmittags. Auch konnte er feststellen, daß sich die Ausstrahlung in Sonnennähe in Einstrahlung verwandelte und daß auch einzelne helle Wolken die Ausstrahlung in Einstrahlung verkehren konnten. Während der totalen Sonnenfinsternis des 20. August 1914 fand A. Ångström in Upsala die Ausstrahlung zur Zeit der totalen Phase von derselben Größe wie die nächtliche Ausstrahlung, und (bei Abschirmen der direkten Sonnenstrahlen) sowohl während wie vor und nach den partiellen Phasen einen negativen Wärmestrom vom Himmel zur Erde, wenn auch kleiner wie des Nachts. Dagegen maß Lo Surdo zu Neapel am Tage einen eingehenden positiven Wärmestrom, und ebenso fanden Ångström und Abbot mit dem oben beschriebenen Instrument in Algier bei 58° Sonnenhöhe am Tage eine Einstrahlung, nämlich:

Vor Sonnenaufgang	— 0,194	$\frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}$
Am Mittag	+ 0,067	„
Nach Sonnenuntergang . . .	— 0,218	„

Vorausgesetzt, auch in diesem Falle hätte, wie während der Sonnenfinsternis des 20. August 1914, bei Abwesenheit der Sonne die Ausstrahlung des Mittags etwa denselben Wert wie des Nachts gehabt, also — 0,206 (als Mittel aus — 0,194 und — 0,218), so hätte die durch die Zerstreung der direkten Sonnenstrahlen hervorgebrachte Wärmestrahlung der Atmosphäre $0,206 + 0,067 = 0,273 \frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}$ betragen. Das wäre laut begleitend durchgeführter Messung etwa $\frac{1}{4}$ der gleichzeitig auf die Horizontalfläche entfallenden Wärmestrahlung der Sonne.

Die Verteilung der Wärmestrahlung über den Himmel, soweit sie von den zerstreuten direkten Sonnenstrahlen stammt, also nur

kurzwellige Wärmestrahlen bis zu etwa 2μ enthält, ist am Tage eine gänzlich andere wie des Nachts. Sie muß — wie vorauszusagen ist — derjenigen ähneln, welche wir weiter unten für die Verteilung der Helligkeit kennen lernen werden, d. h. es muß Strahlungszunahme stattfinden in Richtung auf Sonne und in Richtung auf Horizont. Messungen dieser Art liegen nur von Abbot vor, und auch von den seinigen müssen wohl die auf Flint Island im Pazifischen Ozean und in Bassour (Algier) vorgenommenen, ungünstiger äußerer Verhältnisse wegen, ausgeschlossen werden. Übrig bleiben also nur einige auf dem Mount Wilson (1730 m) und Mount Whitney (4420 m) durchgeführte Reihen, bei welchen leider aber auch nur auf den Helligkeitsgradienten vom Zenit zum Horizont und nicht auf den von Sonnenferne nach Sonnennähe geachtet worden ist, so daß nur das Strahlungsverhältnis von sieben verschiedenen, durch Horizontalkreise begrenzten Himmelszonen bestimmt ist. Es ist nun interessant, daß dies ganz lächerlich genau dem in Davos (1600 m) bei gleicher Sonnenhöhe von 45° beobachteten Helligkeitsverhältnis, auf welches noch die Rede kommt, entspricht, und daß das Verhältnis der Wärmeintensität von Himmel:Sonne auf Mount Whitney etwa halb so groß ist wie das der Helligkeitsintensität von Himmel:Sonne in Davos. Zur Bestrahlung der Horizontalfläche trägt der Himmel im ersten Falle 10,6 Proz. bei und im zweiten Falle 20 Proz. (nach Korrektur wegen des beschränkten Horizontes); die vom Himmel ausgehende Strahlungsmenge ist im ersten Falle 17,5 Proz., im letzten 30,0 Proz. der Sonnenstrahlung. Aus dem Vergleich dieser Abbotschen Resultate mit den in Davos und Kiel in verschiedenen Spektralteilen des sichtbaren Spektrums vorgenommenen kann man wohl allgemein schließen: Mit zunehmender Elevation über dem Meeresspiegel und mit abnehmender Wellenlänge der zur Beobachtung gewählten Strahlung wird der Gradient in Richtung Horizont (und wohl auch in Richtung Sonne) kleiner, wird also die Himmelshelligkeit immer gleichmäßiger über den ganzen Himmel verteilt.

Abbot hat zu solchen Messungen der während des Tages aus den direkten Sonnenstrahlen von der Atmosphäre zerstreuten kurzwelligigen Wärmestahlung noch ein — „Pyranometer“ getauftes — auf einer veränderten Kompensationsmethode beruhendes Instrument geschaffen. Bei diesem hindert eine Uviolglasdecke

den Austausch langwelliger Temperaturstrahlung mit dem Himmel. Schließlich muß noch des schon S. 29 erwähnten, seit 1912 am meteorologischen Hauptobservatorium der Vereinigten Staaten auf dem Mount Weather Va. (540 m) in regelmäßigem Beobachtungsdienst die auf die Horizontalfläche entfallende Wärmestrahlung von Himmel + Sonne selbstregistrierenden Callendar-Pyrheliometers gedacht werden. Das Observatorium und H. H. Kimballs Name und die unendliche Mühe, welche er aufgewandt hat, bürgen dafür, daß bei Konstruktion, Prüfung und Handhabung auf das gewissenhafteste verfahren ist, und die regelmäßigen in vorbildlicher Form veröffentlichten Übersichten über Mittel, Maxima, Minima und Abweichungen von größeren und kleineren Parallelperioden anderer Jahre besagen, daß man die Angaben des Instrumentes für richtig ansieht. Eine Prüfung zeigt aber eine große Reihe bedenklicher Unvollkommenheiten: Zwei Paar aus geschwärztem und aus blankem Platindraht gewickelte, in Serie geschaltete, in quadratischen Rähmchen gitterartig gefaßte Platinwiderstände sind derart in einem gemeinsamen quadratischen Rahmen angeordnet, daß sich die gleichartigen Paare diagonal gegenüberliegen, und werden unter einer evakuierten halbkugelartigen Glasglocke horizontal der Bestrahlung durch Sonne + Himmel ausgesetzt. Die Temperaturdifferenz dieser beiden Platinwiderstandsthermometer wird mittels einer sich automatisch einstellenden Wheatstoneschen Brücke registriert. Die Glasbedeckung hindert auch hier die Aufnahme der langwelligeren Temperaturstrahlung der Atmosphäre (mit und ohne Glas gleichzeitig exponierte Instrumente zeigen Differenzen von etwa 10 Proz.) und sie trägt gleichzeitig infolge Reflexion, Absorption und eigener Strahlung empfindliche Fehler hinein. Auf eine elegante photographische Weise ist von Eric R. Miller nachgewiesen, daß allein die am Glas und am Gitter erfolgende innere Reflexion, welche die Strahlen je nach Sonnenhöhe verschieden auf die drahtbewickelten Streifen fallen läßt, mittlere Fehler bis zu 10 Proz., bei 10° Sonnenhöhe sogar bis zu 60 Proz. erbringt. Hierzu kommt eine große Zahl von Korrekturen, welche zwar auf Mittelwerten aus langen, mit dem Standard-Pyrheliometer angestellten Vergleichsreihen beruhen, aber deshalb Bedenken auslösen, weil die Einzelwerte dieser Vergleichsreihen in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe bis zu 20 Proz. schwanken. Solche Korrekturen sind

insbesondere nötig für die selektive Absorption der blanken Platinstreifen und für die voneinander verschiedene spektrale Zusammensetzung der Himmels-, Sonnen- und Wolkenstrahlung. Bei der kalorimetrischen Auswertung der Diagramme ist dann schließlich noch der mittlere Bewölkungsgrad als Korrektionsfaktor einzubeziehen. Für die Unsicherheit dieses Meßverfahrens spricht unter anderem, daß verschiedene Instrumente recht verschiedene Angaben machen, und daß auch die Anzeigen ein und desselben Instrumentes nicht übereinstimmen, wenn man den Rahmen in zwei um 90° voneinander verschiedenen Richtungen exponiert, wobei die Abweichungen wiederum je nach Sonnenhöhe größer oder kleiner gefunden werden. Dazu variieren die Differenzen, wie zugegeben wird, mit der Tageszeit und, wie voraussehen ist, auch mit der Jahreszeit infolge der sich ändernden spektralen Zusammensetzung der Strahlungsquellen.

Trotz dieser schwerwiegenden Einwände sei in Anbetracht der großen Bedeutung, welche solche Registrierungen haben, ein von H. Defant in der Meteorologischen Zeitschrift gegebener kleiner Auszug aus den Messungsreihen der Zeit vom 17. Mai 1912 bis 30. September 1914 in nebenstehender Tabelle aufgeführt.

Der jährliche Gang der Tagessummen der Strahlung, die einem Quadratcentimeter im Laufe eines Tages zugeführt werden, ist deutlich ausgesprochen; das Minimum fällt auf den Dezember, das Maximum auf die Monate Mai und Juni. Im Jahresdurchschnitt erhält der Erdboden etwa 66 Proz. der möglichen Strahlungsmenge. Der Unterschied ist in den einzelnen Monaten in dieser Beziehung klein; es schwankt diese Zahl zwischen 57 im Januar und 71 im Juli und September. Das Maximum erreicht meistens 95 Proz. der möglichen Strahlung, das Minimum fällt auf trübe, neblige Tage. Welche absolute Maximalwerte der Intensität bei wolkenfreiem Himmel in den einzelnen Monaten vorkommen können und wie sich dieselben maximal erhöhen können, wenn leichte, helle Wolken in die Nähe der Sonne treten, ohne sie zu verdecken, zeigt die kleine Aufstellung auf S. 94.

Die bei wolkenlosem Himmel in einer Minute auf 1 cm^2 der Horizontalfläche entfallende Strahlungsintensität von Sonne + Himmel beträgt im Dezember 0,77, im Juni 1,55 gr.kal.; die Werte erhöhen sich im Durchschnitt um 0,2 bis 0,15 gr.kal. im Winter (etwa 18 Proz.), um 0,1 gr.kal. im Sommer (etwa 6 Proz.),

Sonnen- und Himmelsstrahlung in gr. kal. pro cm² der horizontalen Oberfläche auf dem Mount Weather Va.
 (39° 4' N, 77° 53' w. v. Gr., 540 m).

	Tages- mittel	Prozente der möglichen Strahlung	Mittleres				Sonnenschein- dauer Prozente der möglichen Sonnenschein- dauer	Mittlere Bewölkung
			Maximum		Minimum			
			der Strahlung pro Tag					
gr. kal cm ²	Prozente der möglichen Strahlung	gr. kal. cm ²	Prozente der möglichen Strahlung	gr. kal. cm ²	Prozente der möglichen Strahlung			
Januar	171	57	276	95	51	17	43	6,7
Februar	274	67	403	98	88	16	57	5,7
März	337	58	534	85	83	14	53	6,7
April	415	60	673	98	101	15	55	6,0
Mai	525	70	758	96	237	32	61	5,0
Juni	525	69	619	81	242	32	55	6,0
Juli	516	71	693	99	245	34	57	5,7
August	429	67	587	98	210	33	48	6,0
September	374	71	526	100	144	27	57	5,0
Oktober	282	68	415	100	124	30	53	6,0
November	202	65	291	94	57	18	56	5,7
Dezember	167	65	254	97	74	29	50	5,7
Jahr	352	65,6	498	92,5	128	23,8	53,7	5,85

Maximum der Strahlung in gr.kal./cm² und min.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Horizontale Oberfläche bei Wolken in der Nähe d. Sonne, ohne sie zu verdecken .	1,01	1,29	1,50	1,60	1,64	1,65	1,62	1,56	1,44	1,23	1,02	0,93
Horizontale Oberfläche bei wolkenlosem Himmel	0,86	1,10	1,36	1,48	1,54	1,55	1,53	1,46	1,28	1,02	0,84	0,77

wenn noch die Reflexion der Wolken hinzukommt, welche die Sonne nicht verdecken. Die Amplitude vom Winter zum Sommer ist, wie zu erwarten war, lange nicht so groß wie die in Davos für die Beleuchtungsstärke durch Sonne + Himmel gefundene, die prozentuelle Strahlungsvermehrung durch Wolken bei Sonnenfreiheit ist aber annähernd die gleiche und liegt vor allem in demselben Sinne, daß sie bei niedriger Sonne viel energischer ist als bei hoher. Nach Zusammenstellung aller bisher bekannten Resultate über die Wärmestrahlung der Atmosphäre während des Tages zieht Defant folgende, einen allgemeinen Anhalt bietende Schlußfolgerung: „an diffuser Himmelsstrahlung erhält demnach eine horizontale Fläche zur Mittagszeit im Durchschnitt etwa 25 Proz. der direkten Sonnenstrahlung. An einem klaren Sommertage beträgt die diffuse Wärmestrahlung $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{3}^0$ der totalen Strahlung“.

Überblicken wir noch einmal alles, was über die Wärmestrahlung des Himmels während des Tages (also nach S. 85 die aus Gegenstrahlung der Atmosphäre und zerstreuten Sonnenstrahlen zusammengesetzte „effektive Einstrahlung“) als praktisch verwendbar angegeben werden konnte, so werden wir nicht umhin können, zu gestehen, daß es nicht befriedigt und auch zunächst nur wenig günstige Perspektiven eröffnet. Es ist durchaus zu betonen, daß die beiden sichersten Meßergebnisse (Homén's und A. Ångström's gelegentlich der Sonnenfinsternis) einen ausgehenden Wärmestrom bei klarem Himmel auch während des Tages melden. Möglich, ja sehr wahrscheinlich ist, daß derselbe geringer und vielleicht sogar positiv wird, wenn man sich dem Äquator mehr nähert, und zweifellos wird er mit Tages- und Jahreszeit und mit Aufstieg in die Höhe in nicht geringem Maße schwanken. Viel mehr dürfen wir wohl noch nicht als gesichert ansehen.

Es ist nicht zu leugnen, daß die praktische Verwertung der gebotenen Zahlen dem der Materie ferner Stehenden Schwierigkeiten bietet, insbesondere wenn er sie — wie der Biologe — auf einen Eigentemperatur besitzenden Körper beziehen will. Es sei daher ein auf die Körpertemperatur des Menschen abgestelltes Rechenbeispiel durchgeführt: In 1600 m Meereshöhe ist in Davos im Winter (Oktober bis April) 1911/12 in 27 wolkenlosen Nächten im Mittel der Wert von $0,249 \frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}$ für die „effektive Strahlung“ gemessen bei -5° mittlerer Lufttemperatur. Hieraus errechnet sich die „Gegenstrahlung“ der Atmosphäre zu 0,147 (nämlich 0,396 bei Abwesenheit der Atmosphäre nach Tabelle S. 85 abzüglich gemessener 0,249). Für die Körpertemperatur des Menschen ergäbe sich hiernach ein Wärmeverlust von $0,563 \frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}$ (nämlich 0,710 laut Tabelle S. 85 abzüglich der oben berechneten Gegenstrahlung der Atmosphäre 0,147). Nehmen wir an, daß des Mittags weder eingehender noch ausgehender Wärmestrom vorhanden ist, daß also bei der Lufttemperatur des Mittags ($+2^{\circ}$ im Mittel der genannten 7 Monate) die Ausstrahlung der horizontalen schwarzen Fläche durch die „effektive Einstrahlung“ kompensiert werde, so wäre die gesamte Wärmestrahlung des Himmels gleich der Ausstrahlung des schwarzen Körpers bei $2^{\circ} = 0,439$ (laut Tabelle S. 85) und somit verlöre der Mensch bei 37° Körpertemperatur $0,710 - 0,439 = 0,271 \frac{\text{gr. kal.}}{\text{min. cm}^2}$. Bei 30° Sonnenhöhe beträgt die auf die Horizontalfläche entfallende direkte Sonnenintensität im Mittel dieser 7 Monate etwa 0,70. Wir haben also folgendes Resultat für die Hochgebirgsverhältnisse im Winter: Durch Ausstrahlung gibt an klaren Wintertagen der Mensch um die Mittagszeit etwa 40 Proz., nach Sonnenuntergang etwa 80 Proz. derjenigen Wärmemenge ab, welche ihm die Sonne bei ihrem Höchststande um die Mittagszeit zusendet. Vermutlich geht in der Hochgebirgshöhe im Winter auch am Tage ein Wärmestrom von der Erde zum Himmel, und die Verhältnisse liegen daher am Tage noch krasser. Man wird in roher Schätzung während des ganzen Tages die Wärmeabgabe durch Ausstrahlung auf die Hälfte der gleichzeitigen Wärmezufuhr durch Einstrahlung anzunehmen haben. Die Berechnung bezieht sich auf die Horizontalfläche; nach den verschiedenen vertikalen Richtungen würde sie sich sehr verschieden gestalten — hierauf kommt noch die Rede gelegentlich der Helligkeitsstrahlung des Himmels und des Vorderlichtes.

Um nicht mit diesem wenig befriedigenden Resultat abzuschließen, wollen wir an Hand der S. 88 erwähnten und ihrer Grundlage nach erklärten Rechnungsergebnisse Emdens noch kurz überblicken, welche Gesamtsumme von Wärmestrahlung der Erde

erhalten wird dadurch, daß die Atmosphäre ihre Ausstrahlung zum Weltraum hindert, indem sie sie selbst aufnimmt und ihr durch Rückstrahlung zurückgibt: Selbst an einem klaren Tage bietet sie im Meeresniveau einen Wärmeschutz von fast 90 Proz., indem sie soviel von der Wärmestrahlung der festen und flüssigen Erdoberfläche aufnimmt. Der Vergleich der beiden Tabellen der S. 86 und 88 läßt die Prüfung zu und ermöglicht leicht eine Feststellung auch für die Verhältnisse in höheren Lagen über dem Meeresspiegel. Dies Einbehalten der Wärme durch den schützenden Wärmemantel der Atmosphäre ist durchaus vergleichbar der Wirkung eines Treibhauses: Die kurzwelligen (sichtbaren) Strahlen werden hindurchgelassen, setzen sich durch Absorption und nachfolgende Ausstrahlung zum größten Teile in Wärmestrahlung um, und diese langwelligen Wärmestrahlen werden wie vom Glase so von der Erdatmosphäre (infolge Absorption durch den Wasserdampf und etliche atmosphärische Gase) nicht wieder herausgelassen. Dieser Wärmemantel übt dieselbe Wirkung auf die Erdatmosphäre aus, als wenn der Urquell der Wärme, die extraterrestrische Sonnenstrahlung, 22 Proz. größer wäre, als sie wirklich ist; ja der Wärmemantel wirkt energischer als die zur Erde gelangende (die Erde erwärmende und durch ihre Ausstrahlung den Wärmemantel erzeugende) direkte Sonnenstrahlung, was zunächst ganz absurd klingt und — kurz gefaßt — seine Erklärung im wesentlichen darin findet, daß die Sonne nur am Tage, die Atmosphäre aber Tag und Nacht strahlt. Je nach der geographischen Breite und nach der Jahreszeit sind die Verhältnisse der Strahlungssummen von Sonne und Himmel natürlich verschieden. Selbst in äquatorialen Gebieten ist im Jahresmittel die Gegen-

Nördliche Breite	0°	15°	20°	30°	40°	50°	60°
Sonnenstrahlung . . .	880	852	830	773	694	601	500
Gegenstrahlung der Atmosphäre							
Sonnenstrahlung . . .	917	933,5	958	998	1015	1015	1002
Gegenstrahlung der Atmosphäre							
Sonnenstrahlung . . .	730	753	755	750	713	660	624
Gegenstrahlung der Atmosphäre							
Sonnenstrahlung . . .	863	687	621	477	326	181	51
Gegenstrahlung der Atmosphäre							

strahlung der Atmosphäre nur um 20 bis 10 Proz. kleiner als der Zufluß von direkter Sonnenstrahlung auf ihre obere Grenze — auf diese extraterrestrische Sonnenstrahlung ist in der Tabelle auf S. 96 Bezug genommen, und nicht auf die am Erdboden anlangende. (Die Zahlen bedeuten Grammkalorien pro Quadratcentimeter und 24 Stunden.)

Bereits zwischen dem 50. und 60. Breitenkreise werden beide Strahlungen einander gleich. Im Sommer überwiegt überall die Sonnenstrahlung, im Winter jedoch überall, außer am Äquator, die Himmelsstrahlung. In Mitteleuropa erhält der Erdboden im Januar durch die Gegenstrahlung der Atmosphäre zwei- bis dreimal so viel Wärme zugestrahlt wie durch die Sonnenstrahlung. Der Wärmeschutz der Atmosphäre ist daselbst im Sommer kaum vorhanden, im Winter aber außerordentlich groß, und zwar dadurch besonders erhöht, daß infolge der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre in dieser Jahreszeit aus den äquatorialen Gebieten mit großen Wärmemengen beladene, strahlungsfähige Luftmassen in die höheren Breiten geführt werden. Ohne die schützende Atmosphäre hätten wir im Winter unter dem 50. Breitenkreise eine Minimaltemperatur von -40° und unter dem 60. Breitenkreise eine solche von -73° . Die Atmosphäre erhöht also die Temperatur um 33 bzw. 57° . Wir zehren im Winter von Sonnenstrahlung, welche uns auf dem Wege über atmosphärische Strahlung zugeführt wird.

Die Helligkeitsstrahlung des Himmels.

Die gesamte Helligkeit: Die Himmelshelligkeit wird durch die Wirkung, welche sie auf die Horizontalfäche ausübt, gemessen und mit der der gesamten durch Sonne und diffuses Himmelslicht ($S + d$) verursachten Beleuchtungsstärke der Horizontalfäche, der „Ortshelligkeit“, derart verknüpft, daß zunächst die letztere und dann nach Abschirmen der Sonne die vom Himmel allein stammende Beleuchtungsstärke (d) bestimmt wird. Hierbei geht stets ein je nach Anordnung größerer oder kleinerer Fehler dadurch mit ein, daß zusammen mit der Sonne ein Himmelsstückchen abgeblendet wird, welches ganz besonders hell ist. Diese Fehlergrößen zu bestimmen, ist eine peinliche Arbeit. Sie geht uns hier zunächst nichts an, weil für diese lichtklimatischen Messungen

nur die Verhältnisse der täglichen Praxis interessieren, und da werden weder Mensch noch Tier noch Pflanze, welche sich aus der Sonne in den Schatten bewegen, wohl je ganz scharf die Schattengrenze aufsuchen. Neben den durch die Horizontalfläche definierten Größen der Ortshelligkeit ($S + d$) und ihrer Einzelkomponenten und dem Verhältnis beider $\left(\frac{\text{Sonnenlicht}}{\text{Schattenlicht}} = \frac{S}{d}\right)$ bedarf es durchaus auch der Bestimmung der Beleuchtungsstärke der Vertikalfläche in ihren verschiedenen Orientierungen, d. h. des Vorderlichtes. Man verfährt dabei so, daß man unabhängig von der geographischen Orientierung diejenige Richtung, in welcher die Sonne steht, stets als Südrichtung annimmt und neben diesem südlichen Vorderlicht (S) das der übrigen drei Kardinalrichtungen W, N, E bestimmt und ihre Mittel als „mittleres Vorderlicht“ bezeichnet. Auch das Unterlicht, welches z. B. am Meeresstrand oder im hellen Kalkgebirge oder bei Schneelage eine recht wesentliche Rolle spielt, darf nicht übersehen werden. Diese Größen sind sämtlich recht leicht auf das Oberlicht zu beziehen; nur dies gilt, es genau auszumessen.

Es ist nun geradezu erstaunlich und wahrhaft beschämend, daß man diesen, jeden Menschen alltäglich ernst angehenden Größen bisher so wenig Beachtung geschenkt und ihre exakte Messung arg vernachlässigt hat. Wohl hat man viel Interesse gezeigt für die relativen Helligkeiten in geschlossenen Räumen, die Lichtverteilung innerhalb derselben und ihre Beziehung zu dem vom Fenster eingehenden Licht (ich erinnere u. a. an Thorners Helligkeitsprüfer, Pleiers und Webers Raumwinkelmesser), dagegen hat man sich bisher sehr wenig bemüht, die letztere, als Fundament dienende Größe und ihren gewaltigen Wechsel mit Tages- und Jahreszeit exakt zu erfassen. Dies ist um so auffallender, als eine fast mit „vollkommen“ zu bezeichnende Meßmethode zur Verfügung steht, nebst zugehörigem, sehr zuverlässigem und praktischem Instrumentarium. Schon S. 38 wurde L. Webers photometrische Methode kurz beschrieben; sie trägt dem Rechnung, was der Mensch im praktischen Leben braucht, der Sehschärfe. Mit dem Weberschen Milchglasphotometer läßt sich nach einiger Übung bis auf 1 bis 2 Proz. genau arbeiten, und auf diese so genau feststellbaren Grundgrößen der Ortshelligkeit (auch mit Oberlicht bezeichnet) sind dann die übrigen mittels eines gleich-

falls von L. Weber geschaffenen „Relativphotometers“¹⁾ leicht bezogen. Diese letzteren Messungen können, wie schon S. 56 erwähnt, von weniger geschulter Hand vorgenommen werden, sie sind darum nicht weniger wichtig für das Lichtklima des Ortes, denn die lokalen Verhältnisse (natürlicher Horizont und Bodenbedeckung) variieren die Größe des Vorderlichtes und Unterlichtes in bedeutendem Maße, während die des Oberlichtes bei klimatisch ähnlich gelegenen Orten nur wenig schwankt, so daß ihre Bestimmung an wenigen Orten genügt (siehe das Programm S. 55). Im Kieler Physikalischen Universitätsinstitut ist für Dauerbeobachtungen der Ortshelligkeit unter L. Webers Leitung auch eine Registriermethode von F. Hapke²⁾ ausgearbeitet, welche bei genügend exakter Anwendung den Einzelbeobachtungen an Genauigkeit nicht wesentlich nachstehen dürfte. Es ist also alles bestens vorbereitet und harret nur der Anwendung.

Außer ganz wenigen Einzelmessungen, welche in Washington mit einer ähnlichen instrumentellen Anordnung durchgeführt sind, liegen nur ganz regelmäßig seit 1890 angestellte mittägliche Ortshelligkeitsmessungen aus Kiel vor nebst einer in den drei Jahren 1908 bis 1910 regelmäßig in Davos durchgeführten Parallelreihe. In Davos sind außerdem im Laufe dieser drei Jahre die bei unbedecktem Himmel herrschenden „Normalwerte“ für alle Höhen- und Azimutstellungen der Sonne (also für alle Jahres- und Tageszeiten) bestimmt nebst ihrer Beziehung zu Bewölkungsgrad, Helligkeitsstufen der Sonne und Sonnenhöhe. Es wurde dabei festgestellt, daß die Ortshelligkeit bei wolkenlosem Himmel eine überraschend konstante, bei gleicher Sonnenhöhe um kaum 5 Proz. um einen Mittelwert schwankende Größe ist, und daß auch bei

¹⁾ Schrift. d. Naturw. Ver. f. Schleswig-Holstein 15, Heft 1. Das Instrument ist von Schmidt & Haensch, Berlin, zu beziehen. Mit ihm können übrigens nach Ersatz des „Spiegel“tubus durch einen ein elektrisches Lämpchen tragenden auch Oberlichtmessungen vorgenommen werden, da Vorschaltung von spektral ausgewerteten grünen, roten und blauen Gläsern und Adapterungslinsen und Reflexionsprisma vorgesehen sind. Auf diese Weise vereinigt das kompensierte, mit guten Einstellvorrichtungen versehene, freilich nicht billige Instrument alles, was zu Himmelsphotometrierungen nötig ist, gibt allerdings keineswegs so genaue Resultate wie das Milchglasphotometer, aber doch vielmals genauere als die aus photographischen Methoden ableitbaren.

²⁾ Dissert. Kiel 1918.

Berücksichtigung der Bewölkung die Jahres- und Monatsmittel verschiedener Jahre sehr wenig voneinander abweichen. Ein Vergleich zwischen den in Kiel und Davos gleichzeitig gemessenen Werten der Ortshelligkeit (unter Berücksichtigung der Bewölkung) lehrt u. a.: Davos hat mittags im

tiefen Winter . . die	6 fache	Helligkeit	von	Kiel
höchsten Sommer „	1,8 „	„	„	„
Jahresmittel . . „	2,5 „	„	„	„

Das Hochgebirge hat also:

1. eine sehr viel hellere Beleuchtung als die Ebene,
2. eine sehr viel günstigere Verteilung dieser Helligkeit über das Jahr, indem die Winterhelligkeit die der Ebene sehr viel mehr übertrifft als die Sommerhelligkeit (wenn auch diesbezüglich von der großen Differenz Davos—Kiel ein kleiner Teil durch den Breitenunterschied bedingt ist).

Die gleichmäßigere Verteilung der Beleuchtung involviert kleinere Amplituden:

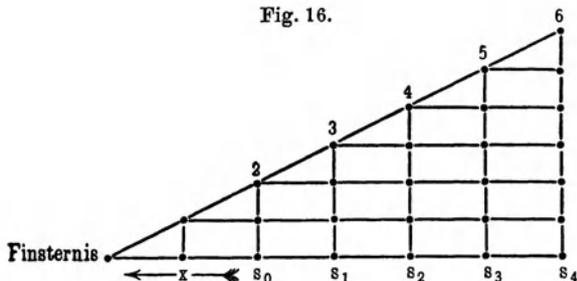
Drückt man die Amplitude als ein Vielfaches des Minimalwertes aus, so beträgt die Amplitude der

Monatsmittel . . . in Davos	3,0,	in Kiel	7,9
Monatsmaxima . . „	3,6,	„	10,9
Monatsminima . . „	3,9,	„	13,6
absoluten Maxima			
und Minima . . „	32,3,	„	219,0 (also etwa das 7 fache)

Diese Zahlen führen drastisch vor Augen, welche Unterschiede in dem Lichtklima verschiedener Orte bestehen — man vergleiche hiermit die relativ kleinen Differenzen in Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt und Luftdruck. Bewölkung wirkt keineswegs nur lichtmindernd, sondern bei gänzlich klarer Sonne (S_4) oder nur zart verschleierter (S_3) helligkeitsvermehrend, besonders bei niedrigem Sonnenstande und mittlerem Bewölkungsgrade. Maximal ist die Lichtvermehrung in Davos mit 40 Proz. gefunden. Die verschiedenen Helligkeitsstufen der Sonne haben folgende Beziehung zur Ortshelligkeit: „Trägt man die Helligkeitsstufen als Abszissen (siehe nebenstehende Fig. 16), die Intensitäten als Ordinaten auf, so ist die durch die Endpunkte der Ordinaten gezogene Linie

eine Gerade, welche die Abszissenachse in einem Punkte schneidet, der um zwei Helligkeitsstufen unter S_0 liegt. Folglich ist das Intervall von vollständiger Finsternis bis S_0 zweimal so groß wie das Intervall zwischen zwei der nächsten aufeinanderfolgenden Stufen.“ Dieser Zusammenhang ist zuerst von Schwab in Kremsmünster auf photographischem Wege gefunden, später in Davos photométrisch bestätigt.

Fig. 16.



Es interessieren noch folgende in Davos gefundene Verhältniszahlen:

	Bei blauem Himmel	Im Mittel aller Tage
Sommer } Winter }	1,98	1,75
Erste Jahreshälfte } Zweite Jahreshälfte }	1,14	1,23
Erste Hälfte der Vegetationsperiode März/Juni } Zweite Hälfte der Vegetationsperiode Juli/Oktbr. }	1,12	1,22

Auf photographischem Wege sind an anderen Orten (Wien, Kremsmünster, Kew, Fécamp) stets die späteren Monate den früheren ein wenig überlegen gefunden. Die Helligkeit des wolkenlosen Himmels ausschließlich der Sonne schwankt in der Ebene recht bedeutend, weil er daselbst fast stets von Dunst in wechselnder Stärke erfüllt ist; bei 40° Sonnenhöhe sind in Kiel Größen gemessen, welche im Verhältnis von 1:2 stehen. In der Höhe ist der Unterschied, wie schon erwähnt, sehr gering und macht sich im allgemeinen nur im Jahreszeitenwechsel bemerkbar. Mit Aufsteigen aus Meereshöhe nimmt die Helligkeit der direkten

Sonnenstrahlung dauernd zu, die des diffusen Himmelslichtes aber nur bis zu einer bestimmten Grenze, um alsdann wieder zu fallen und an der Atmosphärengrenze gleich Null zu werden. Soweit bisher photometrische Vergleiche möglich sind zwischen Kiel und Davos und einigen Orten des hohen Schwarzwaldes, sind bei sehr reinem blauen Himmel die Helligkeitsunterschiede des diffusen Himmelslichtes recht gering (in 700 m Höhe 3 Proz., im Meeresniveau 12 Proz. kleiner als in Davos), aber der normale weißblaue Himmel der Ebene ist sehr viel heller (bis doppelt so hell als der fast stets reinblaue Himmel der Höhe) — stets natürlich auf gleiche Sonnenhöhe bezogen. Die Helligkeit des diffusen Himmelslichtes ist von der Sonnenhöhe viel weniger abhängig als die des Gesamtlichtes und des Sonnenlichtes. Daher nimmt das Verhältnis von Sonnenlicht : diffusum Himmelslicht $\left(\frac{S}{d}\right)$ mit steigender Sonne sehr zu, und zwar in der Höhe viel mehr als in der Ebene. Nur für erstere sind genaue Zahlen zu melden; sie beziehen sich auf den wolkenlosen Himmel, und sie sind außer für den Helligkeits-Äquivalenzwert auch für verschiedene Spektralteile aufgeführt — der Nenner ist stets mit 100 ergänzt zu denken.

Verhältnis $\left(\frac{S}{d}\right)$ der Beleuchtungsstärke
der Horizontalfläche durch Sonnenlicht und durch diffuses
Licht, letzteres = 100 gesetzt.

Sonnenhöhe	10°	20°	40°	60°
Rotes Licht	377	584	1227	1321
Helligkeits-Äquivalenzwert	292	470	978	1055
Grünes Licht	222	376	773	837
Blauviolette Licht	65	128	313	344

Nach wenigen Einzelmessungen zu urteilen, dürften die auf die Helligkeit bezüglichen Zahlen im Meeresniveau um etwa 30 Proz. kleiner ausfallen. Die direkte Sonne hat in der Höhe einen viel größeren Anteil an der Gesamthelligkeit als in der Ebene. Bei stets wolkenlosem Himmel würde in Davos im Jahresmittel die Sonne 88,5 Proz., der Himmel nur 11,5 Proz. zur Beleuchtung der horizontalen Fläche liefern. Bewölkung mindert dies Verhältnis sehr.

Die Webersche Methode liefert (nach S. 38) außer der Helligkeit auch die auf den roten und grünen Spektralteil entfallenden Werte, und durch Zuhilfenahme der zwar mühsamen, aber recht exakten photographischen [Weber-Königschen]¹⁾ Methode, welche gleichfalls die Hefnerkerze als Grundmaß annimmt, ist es möglich, die Sonnen- und Himmelhelligkeit und ihre Summe und ihr Verhältnis außer im Helligkeitsspektrum auch im roten, grünen und blauvioletten Spektralgebiet mittels des Einheitsmaßes der Hefnerkerze zu verfolgen nach ihrer Abhängigkeit von der Sonnenhöhe und sonstigen Einflüssen. Nach den auf diese Weise erhaltenen, in der vorstehenden Tabelle mitaufgeführten Zahlen besitzt gegenüber dem Sonnenlicht das Himmelslicht

etwa $1\frac{1}{2}$ mal mehr grüne als rote Strahlen,
etwa 4 mal mehr blauviolette als rote Strahlen;

bei niedriger Sonne ist der relative Anteil der kurzwelligen Strahlen am Himmelslicht noch größer (diese Schlußfolgerungen beziehen sich — wie erinnert sei — auf das an der Beleuchtung der Horizontalfäche teilnehmende Lichtgemisch, nicht etwa auf das aus der Himmelsoberfläche bzw. der Sonne in normaler Richtung austretende Licht, auf welches noch die Sprache kommt). Für die Verhältnisse $\frac{S}{d}$ ergeben sich hiernach die aus der Tabelle erkennbaren Verhältnisse. Begibt man sich bei hochstehender Sonne aus der Sonne in den Schatten, so setzt man, wie die Tabelle zeigt, die rote Strahlung auf etwa den 13,2. Teil herab, die blauviolette aber nur auf den 3,4. Teil. Auch diese Verhältniszahlen sind bei Anwesenheit von Wolken viel kleiner.

Die Helligkeit der blauvioletten (chemisch wirksamen) Strahlung. Die soeben diskutierten Zahlen leiten uns hinüber zur Besprechung der photographischen Methoden, mit welchen in ausgedehntem Maße die „Helligkeit“ gemessen worden ist, und wir wollen ihnen — die Besprechung des Vorderlichtes vorläufig zurückstellend — folgen. Nach unseren gesamten Betrachtungen bedarf es kaum mehr der Erwähnung, daß die häufig heute noch auftretende Behauptung, die chemisch wirksamen und die Hellig-

¹⁾ Phot. Mitt. 1891, 28. Jahrgang, Heft 1, S. 8 ff.; Arch. d. Ver. d. Fr. d. Nat. in Mecklenburg 1900, 54. Jahrgang, S. 365 ff.

keitsstrahlen gehen in weitem Maße parallel, nicht zutrifft. Wie groß die Abweichungen sind, und in welcher Art sie sich bei den praktisch durchgeführten Tageslichtmessungen äußern, kann aus den etliche Jahre hindurch in Davos durchgeführten Parallelreihen zahlenmäßig genau bewiesen werden. Wie erwähnt, kam die Weber-Königsche photographische Methode zur Anwendung, bei welcher auf die eine Hälfte des photographischen Papiers im Dunkelzimmer eine latente Hefnerskala entworfen und sodann die andere Hälfte (unter einem die Strahlen diffundierenden Milchglas und bis auf $\frac{1}{1000}$ mm genau ausgemessenen Diaphragmen) der Bestrahlung durch Sonne + Himmel bzw. den letzteren allein ausgesetzt wird. Die dann folgende vollkommen gleiche Behandlung beider Papierhälften macht unabhängig von der Stärke des Entwickler- und Fixierbades. Der Grad der von der zu messenden Lichtquelle hervorgerufenen Schwärzung wird an der Hefnerskala im gleichmäßigen Nordlicht unter einem geeigneten Ausschnitt aus schwarzem Kartonpapier sehr genau festgestellt, und mit Hilfe der Apparatkonstanten erhält man dann bei diesem sehr exakten, wenn auch zeitraubenden Verfahren den photographischen Äquivalenzwert in Hefnerkerzen auf etwa $2\frac{1}{2}$ Proz. genau. Während der ganzen fast zweijährigen Periode kam höchstempfindliches (Stolze M) Bromsilberpapier ein und derselben Emulsion zur Anwendung, welches das Maximum der Empfindlichkeit bei etwa $440 \mu\mu$ zeigte. Betrachten wir nun die nach diesem exakten photographischen und dem photometrischen Verfahren stets unmittelbar nebeneinander gemessenen Werte in ihrem gegenseitigen Verhältnis derart, daß wir die kleinsten (Dezember) mittleren Tagessummen der Sonnenstrahlung des wolkenlosen Himmels bei beiden gleich und $= 1$ setzen, so ergibt sich das Bild nach der Tabelle auf S. 105.

Photographisch mißt man die Lichtsummen		
der direkten Sonnenstrahlen bei hohem Sonnen-	stande etwa	$2 \times$
des diffusen Himmelslichtes bei niedrigem Sonnen-	stande.	$4\frac{1}{2} \times$
	bei hohem Sonnenstande . .	$7 \times$
des Gesamtlichtes bei niedrigem Sonnenstande etwa	$1\frac{3}{4} \times$	$1\frac{3}{4} \times$
„ hohem „ „	$2\frac{3}{4} \times$	$2\frac{3}{4} \times$
		} größer als photometrisch

und das Verhältnis von Sonnenlicht : Schattenlicht wird im Jahresmittel photometrisch etwa $3,4 \times$ höher gefunden als photographisch, und zwar schwankend zwischen dem fünffachen Wert im Winter und dem zweifachen im Sommer.

Monat	Sonne S	Diffuser Himmel d	$S + d$	$\frac{S}{d}$
Dezember	1,0	4,6	1,7	4,6
Januar	1,3	4,4	1,9	3,4
Februar	1,6	5,3	2,1	3,4 *
März	1,6	4,7	2,0	3,0
April	1,9	6,4	2,4	3,5
Mai	2,1	7,1	2,7	3,3
Juni	2,0	5,3	2,3	2,6
Juli	1,7	3,4	2,0	2,0
August	2,1	5,7	2,4	2,7
September	1,6	5,9	2,0	3,7
Oktober	1,4	5,9	1,9	4,1
November	1,1	5,7	2,1	5,0
Jahr	1,6	5,4	2,1	3,4

Dieser nach Methode, äußeren Meßbedingungen und Umfang des Materials sehr sicher basierte Vergleich gilt für den wolkenlosen Himmel und den blauvioletten Spektralteil. Wolken mildern diese Verhältnisse, die Anwendung unsensibilisierten Chlorsilberpapiers mit seinem Empfindlichkeitsmaximum bei etwa $395 \mu\mu$ verschärft sie, so daß, da letzteres bei den einfachen photographischen Methoden weitaus am meisten angewandt wird, die Vergleichszahlen als etwa allgemein gültige angesehen werden können. Man befindet sich nach ihnen in einem Grundirrtum, wenn man von den photographischen Werten auf die Helligkeitswerte schließt; es handelt sich im Tages- und Jahresgange sowohl bei den Intensitäten wie bei den Lichtsummen um Unterschiede von Hunderten von Prozenten.

Neben dieser Feststellung ist eine zweite notwendig, wenn man nicht die mühsamen und nur mit kostspieligem Instrumentarium durchführbaren Messungen unterbinden und damit jenen

größeren Fortschritt auf dem Gebiete lichtklimatischer Messungen hindern will: Die Genauigkeit der gebräuchlichsten photographischen Methoden ist nicht annähernd die, welche man bei ihnen häufig voraussetzt. Ich sehe von den Skalenphotometern ab, welche die Lichtsummen pro Tag oder Stunde zu erfassen suchen, und deren weitest verbreiteter Vertreter die Luxsche Kopieruhr ist (für die Praxis geschaffen zur Bestimmung der Kopierzeit für Pigmentdruck). Bei ihnen wird das photographische Reziprozitätsgesetz (Schwärzung = Produkt von Intensität und Belichtungsdauer) als unbegrenzt gültig angesehen, was schwere Fehler zur Folge haben muß, abgesehen von den zahlreichen, welche dem Verfahren ebenso anhaften wie dem weitest verbreiteten Wiesnerschen. Dies knüpft an Bunsens Normalton an, konstruiert — von diesem als Einheit ausgehend — höherwertige Töne und bestimmt die Zeit, in welcher ein nach bestimmten Angaben hergestelltes Chlorsilbernormalpapier den Normalton 1 erreicht. Der reziproke Wert dieser Zeit ist dann die Wiesner- oder auch Bunsen-Einheit (WE oder BE). Ein kleines Rähmchen (Wiesners Handinsolator), in welches das Normalpapier zwischen dem Einheitston und einem den Verhältnissen angepaßten höherwertigen gespannt wird, eine Stoppuhr und wenige Sekunden Aufmerksamkeit genügen, um eine Messung durchzuführen. Die rühmlichst bekannte Photographenfirma R. Lechner, Wien, liefert alles Nötige. Sieht man von Fehlern ab, welche der Beobachter selbst hineinträgt, indem sein Kopf einen Teil des Himmelslichtes abhält, und die sich nach etlicher Übung einschränken lassen, indem kürzeres Hinschauen zur ungefähr richtig geschätzten Zeit genügt, so bleibt die Schwierigkeit der richtigen Auffassung des Momentes gleicher Schwärzung, welche im blendenden Licht der Umgebung auf $\frac{1}{5}$ Sekunde genau geschehen soll, und — was noch viel schwerwiegender ist — die Unsicherheit, welche die Nuance des Normalpapiers hineinträgt. Diese ist stets violett, nur verschieden stark je nach Art des verwandten Rohpapiers, und die Abweichung der violetten Töne von dem schwarzen Ton des Normalpapiers tritt verschieden stark hervor je nach der Art des auffallenden Lichtes (Sonnenlicht oder Himmelslicht) und je nach dem Auge des Beobachters. Die im gleichmäßigen Nordlicht in aller Ruhe vorgenommenen Vergleichsbeobachtungen verschiedener (geschulter) Beobachter führen bisweilen zu geradezu

grotesken Abweichungen. Nur Messungen, welche von ein und demselben Beobachter oder von Beobachtern, die sich über die Art der Auffassung vollständig verständigt haben, ausgeführt sind, können verwertbare Resultate geben, und auch dann halte ich nach einer auf neunmonatiger Dauerarbeit beruhenden Erfahrung Fehler bis zu 20 Proz. für möglich. Diese Feststellung und ein scharfer Strich zwischen den Beobachtungen dieser Art und den mühsamen exakten ist — wie gesagt — nötig, andernfalls hält man jedes Vorwärtsstreben auf. Unterschreitet eine Meßmethode 5 bis (in gewissen Fällen) 10 Proz. mittlerer Genauigkeit, so wird sie die Forderungen nicht mehr erfüllen, welche man an vergleichende lichtklimatische Messungen stellen muß. Keineswegs seien deshalb die einfachen Messungen nach Wiesners Methode, selbst wenn sie nach abgekürztem Verfahren durch die sogenannte Photographenuhr (Wynnes Infaillible Exposure Meter) ersetzt werden, in Bausch und Bogen verworfen. Lichtmessungen in den Laubkronen oder an den Wurzeln der Bäume sind durch sie erst von Wiesner ermöglicht worden, und zu einer ganz allgemeinen Orientierung über die Lichtverhältnisse, wie man sie von Einzelmessungen an schwer zugänglichen Punkten der Erde erwarten kann, reicht sie aus. Daher verdanken wir ihr in dieser Hinsicht sogar recht viel, wie die nun folgenden Beispiele bestätigen:

Am Meeresstrande ist die Lichtintensität größer als im Binnenlande. Dies stellte schon Wiesner fest, und Furlani fand durch seine ausgedehnten systematischen Untersuchungen (1909 bis 1913) im Adriagebiet eine bedeutende Zunahme von Oberlicht, Vorderlicht und Unterlicht mit Annäherung an die Küste. Rübél konstatierte bei den Kanarischen Inseln eine fernere Zunahme, insbesondere des diffusen Himmelslichtes, wenn er sich vom Strande auf das Meer begab. Die Intensität des Gesamtlichtes ist im Meeresniveau bei den Kanarischen Inseln etwa gleich dem des Bernina-Hospizes (2309 m), aber durchaus anders verteilt, indem bei höheren Sonnenhöhen das Alpenlicht, bei mittleren das Meereslicht die größeren Zahlen aufweist. Der Anteil des diffusen Himmelslichtes ist dabei am Meere stets viel größer, insbesondere (bis zu 60 Proz.) bei niedrigen Sonnenhöhen. Beim Aufstieg vom Meeresniveau nimmt die Gesamtintensität zu (Wien: Bernina-Hospiz = etwa 3:4), wobei die Zunahme fast allein auf das direkte

Sonnenlicht entfällt. Bei weiterem Aufstieg nimmt die Intensität des diffusen Lichtes stark ab, die des direkten Lichtes langsam weiter zu. Auf dem Pic von Teneriffa (3730 m) wurde die Gesamtintensität etwa gleich der des Bernina-Hospizes gefunden, ganz auffallend gering aber war die Intensität des diffusen Lichtes, denn das Maximum des letzteren bei etwa 70° Sonnenhöhe war nur etwa ebenso hoch wie das Minimum am Meeresstrande bei 30° Sonnenhöhe. In Ägypten sind von Wiesner und Strakosch, in Algier und in der Sahara von Rübel übereinstimmend unerwartet geringe Lichtintensitäten festgestellt, und der Grund dafür liegt augenscheinlich in der geringen Lichtstärke des diffusen

Himmelslichtes, denn das Verhältnis von $\frac{S}{d}$ wurde etwa zu 3,5 gefunden (vgl. die unten folgenden Zahlen). Im Atlasgebirge ließ sich feststellen, daß die „sandtrübe“ Luft die Ursache ist, denn auf der Luv- und Leeseite wurden sehr verschieden große Werte festgestellt. Ägyptens farbenprächtige Abend- und Morgendämmerungen sind gleichfalls ein Beweis für die „Sandtrübung“ der Luft. Nach häufigeren und längeren Regenfällen ist denn auch in Algier wie in Ägypten stets eine wesentliche Zunahme der Lichtintensität festgestellt worden. Der Tagesgang ist, augenscheinlich abhängig von lokalen Einflüssen und von der Jahreszeit, an verschiedenen Orten verschieden gefunden. Charakteristisch sind folgende Zahlen.

Es wurde eine erste Wirkung der Sonnenstrahlen auf die Horizontalfläche nachweisbar:

auf Bernina-Hospiz	bei 6° Sonnenhöhe	
in Görz und Lissabon	„ 10	„
„ Heidelberg	„ 13	„
„ Wien	„ 19	„

Es wurden die Intensitäten von Sonnen- und Himmelslicht einander gleich $\left(\frac{S}{d} = 1\right)$:

auf Bernina-Hospiz	bei 16° Sonnenhöhe	
am Strande der Kanarischen Inseln	„ 29	„
in Lissabon	„ 51	„
„ Wien	„ 57	„
„ Görz	„ 55—60°	„

Es wurde $\frac{S}{d} = 2$: an der afrikanischen Küste und auf dem benachbarten Meere nur sehr selten und nur bei hohen Sonnenhöhen, in Wien nur ganz vereinzelt, in Görz bei 66° Sonnenhöhe.

Noch größere Verhältnisse von $\frac{S}{d}$ wurden gefunden:

auf dem Pic von Teneriffa je nach Sonnenhöhe	3,0—6,0°
in Norris (U. S. A.) (2212 m)	4,5°
auf Piz Morteratsch (3754 m)	5,0
auf Piz Tschierva (3564)	6,5
im Freiballon bei 3500 bis 4200 m Höhe	5,7

Als absolute Maxima der Intensität sind gemessen:

1,500 Bunseneinheiten (BE)	in Wien
1,612	„ Buitenzorg (Java)
1,900	„ (vereinzelt gefunden) „ Kremsmünster
1,800	„ auf Bernina-Hospiz
2,083	„ im Yellowstone-Park in großer Meereshöhe
2,304	„ im Freiballon in 4200 m Höhe.

von Schrötter beobachtete im Freiballon eine Zunahme mit der Höhe von 0,2 BE für je 1000 m, also 45 Proz. bei 3500 m Höhe, und stellte die große Reflexkraft heller Wolken fest, indem er über solchen das Verhältnis des Oberlichtes zum Unterlichte mit 1,0:0,75 maß.

Die Bewölkung übt bei klarbleibender Sonne auf die chemisch-wirksame Strahlung nur einen kleinen erhöhenden Einfluß aus, wie schon Ed. Stelling in St. Petersburg durch seine umfangreichen Messungen feststellte und in Davos bestätigt werden konnte. Der Einfluß wechselt je nach Sonnenhöhe und Bewölkungsgrad und Helligkeitsstufe der Sonne in demselben Sinne, aber in weit geringerem Maße, als er oben für die sichtbaren Strahlen erwähnt wurde. In den Davoser Tabellen finden sich für beide Arten von Strahlen für alle vorkommenden Verhältnisse in angemessenen Intervallen die Verhältniszahlen zum gleichzeitigen bei wolkenlosem Himmel geltenden „Normalwert“.

Der Wert dieser Allgemeinorientierung bietenden Messungen soll wahrlich nicht unterschätzt werden, darf aber auch nicht

überschätzt werden. So ist es ein hartes Kriterium für die Methode, daß Furlani die während seiner vierjährigen Beobachtungsperiode (1909 bis 1912) im Juni 1912 einsetzende große Katmaistörung gar nicht aufgefallen ist, über deren gewaltigen Einfluß unten berichtet werden wird, und welche die Adria ebenso betraf wie den größten Teil der ganzen nördlichen Halbkugel¹⁾. Auch Rübels auf dem Bernina-Hospiz gesammeltes großes Zahlenmaterial zeigt Schwankungen, wie sie, nach den in verwandter Lage in Davos mit präzisem Instrumentarium durchgeführten Parallelmessungen zu urteilen, kaum vorkommen können, und die sich wohl nur durch verschiedene Auffassungsart der Schwärzungen bei verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen erklären lassen. Die sehr wichtigen, die brechbaren Strahlen des sichtbaren Spektrums betreffenden Messungen von Orts- und Himmelhelligkeit, Vorderlicht und Unterlicht werden — das ist wohl nicht zu bezweifeln — in Zukunft meist auf photoelektrischem Wege mit der Zelle ausgeführt werden. Solche Resultate liegen jedoch bisher noch nicht vor.

Der Bericht über das Vorderlicht und Unterlicht ist noch nachzuholen. Was unter demselben zu verstehen ist, wurde schon S. 98 erörtert. Auf photometrischem Wege sind folgende, die Gesamtwirkung aller physiologisch wirksamen Strahlen angehende Verhältnisse festgestellt.

In Kiel: Die Stärke des Vorderlichtes hängt sehr von der Sonnenhöhe ab und nimmt im allgemeinen mit zunehmender Sonnenhöhe ab (infolge des größer werdenden Inzidenzwinkels der Sonnenstrahlen), das Maximum erreicht es erst bei etwa 20° Sonnenhöhe, da bei niedriger stehender Sonne noch zu viel der Sonnenstrahlen durch Absorption verloren gehen. Im Mittel beträgt es bei klarem Himmel 0,671, bei bewölktem 0,439. Die Unter-

¹⁾ Eine während der Korrektur von Furlani einlaufende Briefnachricht besagt, er habe von dem Einfluß der Störung nicht gesprochen, weil er eine eigene Publikation über sie beabsichtigt hätte. Das konnte man wohl kaum vermuten, wenn er die in der zweiten Hälfte des Jahres 1912 — also zur Zeit der schwersten Störungserrscheinungen — gefundenen Werte ohne ein Wort der Ergänzung mit gleichem Gewicht in die Tabellen eingehen ließ wie die ungestörten Werte, und zwar um so weniger, als die Veröffentlichung erst im Jahre 1916 statthatte.

schiede zwischen dem Vorderlicht der verschiedenen Himmelsrichtungen ist bei Sonnenschein viel größer als bei bewölktem Himmel, bei klarem Himmel überwiegt die Beleuchtung der Südseite die der Nordseite achtmal.

Am Strande der Insel Föhr wurde bei mittleren Sonnenhöhen und Sonnenschein das mittlere Vorderlicht mit 0,912 in 15 bis 20 m Abstand vom Wasser gefunden, am Wasser selbst nur mit 0,884 und auf dem Wasser in Strandeshöhe ein wenig höher; auf dem Lande jenseits der Dünenböschung sank der Wert auf 0,717 über Sturzacker und 0,752 über grüner Wiese, bei bewölktem Himmel sanken die Zahlen auf 0,498 am Strande, 0,462 auf dem Wasser, 0,430 auf dem Lande. Die verschiedenen Größen des Unterlichtes zeigt folgende Zusammenstellung:

	Himmel	
	klar	bewölkt
Strand, Sandboden . .	0,227—0,310	0,144—0,228
Acker	0,115	0,054—0,066
Wasser	etwa 0,170	0,115

Im winterlichen Davos ist das mittlere Vorderlicht im Mittel aller Sonnenhöhen ebenso groß wie das Oberlicht, bei niedrigen Sonnenhöhen sogar größer, und es fällt regelmäßig mit steigender Sonne. Das südliche Vorderlicht ist bei 20° Sonnenhöhe siebenmal, bei 40° Sonnenhöhe viermal so stark wie das nördliche. Mit Fortgang der Schneedecke sinkt das mittlere Vorderlicht um 25 Proz., und zwar vornehmlich das nördliche, denn bei fehlender Schneedecke beträgt dies (bei 40° Sonnenhöhe) nur $\frac{1}{13}$ des südlichen (gegen $\frac{1}{4}$ bei Schneelage). Bei gleichmäßig bedecktem Himmel sind die Unterschiede in allen vier Richtungen gering (Süd nur 20 Proz. heller als Nord). Das Unterlicht beträgt bei wolkenlosem Himmel über

grüner Wiese	0,06
feuchter Ackererde	0,07
Kies	0,13
Schnee, alter	0,64
„ neuer	0,74
„ mit leicht gefrorener Oberschicht	0,89

Die Schneedecke reflektiert also ganz ungleich mehr als der Sandboden des Meeresstrandes, und die Gesamtwirkung von Vorder- und Unterlicht hat nach diesen Beispielen am Strande nicht dieselbe Bedeutung wie auf der schneebedeckten Bergeshöhe, wo sie die des Oberlichtes annähernd erreicht dergestalt, daß der im Freien sitzende Mensch von allen Seiten mit einer Lichtintensität bestrahlt wird, deren mittlere Stärke fast gleich der des Oberlichtes ist.

Auf photographischem Wege ist nach Wiesners Methode das Vorderlicht nach Norden, Süden, Osten, Westen von Wiesner selbst gemessen worden:

in Wien mit 1,00 : 3,30 : 2,32 : 2,25
„ Advent-Bai mit . . 1,00 : 3,08 : 2,00 : 2,00
(78° 12' Nordbreite)

Schwab ermittelte in Kremsmünster bei allen Sonnenhöhen ein konstantes Verhältnis von 1,00 : 4,00 : 3,00 : 3,00, und Rübel fand auf dem Bernina-Hospiz das mittlere Vorderlicht = $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ des Oberlichtes, das südliche Vorderlicht $5\frac{1}{2}$ mal so stark wie das nördliche. Die Lichtsumme des Vorderlichtes errechnete sich zu 67 bis 45 Proz. derjenigen des Oberlichtes, und ebenso betrug die Lichtsumme des nördlichen Vorderlichtes 67 bis 45 Proz. derjenigen des südlichen.

Die Verteilung von Helligkeit und Farbe über den Himmel. Neben der Wirkung, welche das Himmels- und Sonnenlicht gemeinsam und einzeln im ganzen Helligkeitsspektrum und in einzelnen seiner Spektralteile als Ober-, Vorder- und Unterlicht ausübt, müssen wir auch noch der Verteilung der Helligkeit und der Farbe über die Himmelshalbkugel kurz unsere Aufmerksamkeit schenken. Dieselbe hängt im wesentlichen von der Sonnenhöhe ab in einer Weise, welche an Hand der beiden für 0° und 60° Sonnenhöhe gezeichneten, uns schon aus den Betrachtungen der Himmelspolarisation (S. 78) bekannten Fig. 14 und 15 leicht erkennbar sein wird.

Der dunkelste Punkt des Himmels liegt stets im Sonnenvertikal und wandert mit steigender Sonne von etwa 95° Sonnendistanz bei Horizontsonne bis zu etwa 65° Sonnendistanz bei 67° hochstehender Sonne. Um ihn laufen bei Horizontsonne die Iso-

photen annähernd als konzentrische Kreise, mit steigender Sonne nehmen sie die Gestalt von Ellipsen an, welche sich immer mehr in die Länge strecken und von der Sonne her ein wenig eingedrückt erscheinen. Bei höherem Stande tritt die Sonne in diese Ellipsenbucht dergestalt, daß sie schließlich ganz von ihr umschlossen wird. Jeder der durch die Sonne führenden Hauptkreise berührt nur eine bestimmte Isophote, die anderen trifft er gar nicht oder er schneidet sie doppelt. Verbindet man die Berührungspunkte, so erhält man die für die Helligkeitsverteilung überaus charakteristische (schwarz gezeichnete) „Dunkellinie“. Auf allen durch die Sonne führenden Hauptkreisen nimmt die Helligkeit von der Sonne aus bis zur Dunkellinie ab, um jenseits wiederum bis zum Horizont zu steigen. Die Dunkellinie trennt den gesamten Himmel in einen die Sonne umgebenden und einen jenseits gelegenen Teil, die „Sonnenregion“ und die „Gegenregion“. Bei Horizontsonne läuft die trennende Dunkellinie etwa in der Ost/West-Vertikalebene, bei Zenitsonne deckt sie sich etwa mit dem 42° über dem Horizont verlaufenden Horizontalkreise. Aus der ersten Stellung stellt sie sich in die zweite allmählich um, während der Himmel mit steigender Sonne von Ost/West nach Nord zu aufhellt, und läuft in den Zwischenstellungen in nicht einheitlicher Ebene als unregelmäßiges Band um die Himmels-halbkugel. Während des Aufsteigens der Sonne vom Horizont bewegen sich die Minima auf den Horizontalkreisen (auf den hohen schneller als auf den niedrigen) von Ost nach Nord, wo sie bei 40° Sonnenhöhe für alle Horizontalkreise zu suchen sind. Auf den Vertikalkreisen wandern gleichzeitig die Minima (auf den Nordkreisen schneller als auf den Ostkreisen) vom Zenitpunkt nach dem Horizont zu; bei 67° Sonnenhöhe liegen sie auf allen Vertikalkreisen annähernd in 45° Höhe über dem Horizont. Bei allen Sonnenhöhen hat nicht der Nordhimmel, sondern der Osthimmel die geringsten Helligkeitsunterschiede auf der ganzen Strecke zwischen Zenit und Horizont. Die Abweichung von der Erfahrung des praktischen Lebens, nach welcher das Nordlicht das gleichmäßigste ist, klärt sich dadurch auf, daß in letzterem Falle nicht die strenge Ost- und Nordrichtung gemeint ist, sondern die von den flankierenden Quadranten ausgehende Helligkeit. Mit steigender Sonne wird die Sonnenregion immer kleiner, die Gegenregion dagegen größer, und ganz allgemein ist die Ausdehnung

der ersteren um so kleiner, der letzteren um so größer, je durchlässiger die Atmosphäre ist, während gleichzeitig die Helligkeitsdifferenzierungen immer kleiner werden. Daher besitzt der durchlässige Winter- und Frühjahrshimmel eine kleinere Sonnenregion und weniger Differenzierung als der Sommer- und Herbsthimmel, und ebenso ist am Himmel des Flachlandes die Sonnenregion viel ausgedehnter, die Gegenregion viel kleiner als am Hochgebirgshimmel, und die Helligkeitsunterschiede zwischen Sonnenregion und Gegenregion sind in der Ebene viel größer. Die Isophotensfiguren der Ebene laufen unregelmäßiger und ähneln am ehesten Kreisen, welche von der Sonne her stark zusammengedrückt sind. Der Unterschied der Helligkeitsverteilung in Höhe und Ebene macht sich in nächster Sonnennähe am meisten erkennbar. So ist es selbst unter den ausgesucht besten atmosphärischen Bedingungen in Kiel

in 0,3 ^o Sonnendistanz etwa 1,5	} mal heller als in Davos (bezogen auf die gleichzeitige Helligkeit der Sonne).
„ 1 „ „ 1,8	
„ 2 „ „ 3,4	
„ 7,5 „ „ 4,6	

Der Helligkeitsübergang von der Sonne zum Himmel findet in der Ebene weniger kraß statt als in der Höhe — die Sonne des Hochgebirgshimmels ist viel schärfer „umschrieben“. Für den Hochgebirgshimmel geltende Verhältniszahlen (und auch Absolutzahlen in sekundären Einheiten) sind für den ganzen Himmel außerhalb nächster Sonnennähe aus den Figuren unmittelbar ablesbar und für 0^o und 60^o Sonnenhöhe miteinander vergleichbar. Die Flächenhelle der Sonne ist in Davos

bei 10 ^o Sonnenhöhe 1,39	} Millionen mal größer als die des dunkelsten Punktes.
„ 30 „ 1,19	
„ 60 „ 0,94	

In Petersburg wurde sie bei 30^o Sonnenhöhe nur 0,83 Millionen mal größer gefunden.

Infolge der mit der Sonnenhöhe sehr wechselnden Helligkeitsverteilung äußert sich die mit steigender Sonne einhergehende allgemeine Helligkeitsvermehrung an den verschiedenen Himmelspunkten sehr verschieden. So werden z. B. die meisten, wenn nicht alle, bis etwa 45^o über dem Horizont liegenden Himmels-

punkte bei steigender Sonne vorübergehend oder dauernd dunkler; am variabelsten sind die Punkte des Sonnenvertikals, und zwar natürlich die in Süd gelegenen, in deren Nähe ja die Sonne zeitweilig tritt, mehr als die der Nordseite, doch auch auf dieser kommen vorübergehende Verdunkelungen bis zu 27 Proz. vor. Diese zeitweiligen Helligkeitsminderungen nehmen ab von Nord über Ost bis Südost, wo sie nur noch angedeutet sind.

Im Blauviolett sind die Differenzierungen am Himmel geringer als im gesamten Helligkeitsspektrum, die Isophoten gleicher Werte haben daher weiteren Abstand vom dunkelsten Punkt, und sie bewahren gleichzeitig ihre Kreisform besser. Wir erwähnten schon S. 90, daß ganz allgemein die Verteilung der Strahlung über den Himmel mit kleiner werdender Wellenlänge immer gleichmäßiger wird; die größten Unterschiede bestehen in der Wärmestrahlung, die kleinsten im Ultraviolett. Hiermit kommen wir zur spektralen Zusammensetzung des Himmelslichtes. Aus den schon S. 44 aufgeführten Zahlen ersehen wir sein ungefähres Farbenverhältnis einerseits zur Hefnerkerze, andererseits zum Sonnenlicht und den Wechsel seiner spektralen Zusammensetzung bei Auftreten leichter Schleierwolken. Die Blaufarbe variiert, wie schon die visuellen Beobachtungen aussagen, auch am wolkenlosen Himmel von Ort zu Ort und von Zeit zu Zeit stark, und wir erörterten schon S. 66 die Ursachen. Die Blaufarbe wechselt aber nicht nur in ihrer Gesamtheit, sondern auch in ihrer Verteilung über den Himmel. Schon Saussure stellte mit Hilfe eines aus 53 verschiedenen, künstlich hergestellten Farben bestehenden Cyanometers fest, daß die Intensität des Himmelsblau vom Horizont zum Zenit stets, aber von Tag zu Tag in wechselndem Maße zunahm; Alexander v. Humboldt fand mittels ebendesselben Instrumentes auf dem Atlantischen Ozean diese Zunahme etwa proportional dem Kosinus der Zenitdistanz. Parallelmessungen des ersteren zwischen Höhe und Tal lehrten, daß in der Höhe die Zenitgegend, speziell bei hochstehender Sonne, sehr viel dunkler blau sei als in der Ebene, während die Unterschiede am Horizont nur gering waren. Im spektral zerlegten Licht ist dann an den Wellenlängen 510, 530, 565, 600, 635 $\mu\mu$ die Farbenzusammensetzung des Himmels und der Sonne vielfach miteinander verglichen, doch scheinen sich die Beobachtungen fast stets auf den Zenitpunkt beschränkt zu haben. So stellte Crova durch Jahres-

reihen fest, daß in Montpellier das Himmelsblau im Winter am tiefsten, im Sommer am hellsten, morgens tiefer als mittags und etwas tiefer als abends war. Durch freilich nicht streng zeitlich zusammenfallende Parallelmessungen zwischen Montpellier und dem benachbarten 2000 m hohen Mont Ventoux fand auch Crova die Zunahme kurzweiliger Strahlen im Himmelsblau der Höhe. Ein Vergleich zwischen Messungen, welche von Crova in Montpellier, Vogel in Potsdam und Lord Rayleigh in England ausgeführt sind, zeigt, daß der englische Himmel gesättigter blau war als der Potsdamer, und daß der Himmel von Montpellier zur Zeit seines Blaumaximums (im Januar) gesättigter als der englische war. Bei diesen Messungen ging man von der Ansicht aus — Crova erwähnt sie ausdrücklich¹⁾ —, daß die spektrale Zusammensetzung des Zenitlichtes von der Sonnenhöhe unabhängig sei, was nach neueren Untersuchungen nicht zutreffen kann; die angeführten Vergleiche, welche die Sonnenhöhe nicht berücksichtigen, sind daher unvollkommen. Aus Zettwuch's in Rom und auf dem Etna durchgeführten Messungen, welche sich sowohl auf den Zenitpunkt als auch auf den im Sonnenvertikal 90° von der Sonne entfernt gelegenen Punkt bezogen, hat denn auch Lord Rayleigh feststellen können, daß die Reihen nicht harmonierten, und daß die auf den letzteren Punkt bezüglichen besser dem Gesetz der Zerstreung proportional der vierten Potenz der Wellenlänge folgten. Es ergab sich übrigens aus den Reihen, daß die Potenzgröße der Zerstreung in enger Beziehung zur relativen Feuchtigkeit der Luft stand und mit dieser wuchs.

Wer die Helligkeitsverteilung des Hochgebirgshimmels durch viele Jahre gemessen und studiert hat, kann auf Grund dauernd begleitender visueller Schätzungen der Blaufarbe mit guter Sicherheit behaupten, daß Helligkeit und Farbe an dem — wie nachgewiesen — zum überwiegend großen Teile molekular zerstreuen den Hochgebirgshimmel in weitem Maße parallel gehen — oft sieht das geübte Auge die Isopotenzüge, wie sie sich in den Figuren 14 und 15 darstellen, wie mit blauer Farbe auf den Himmels hintergrund gemalt. In gleichem Sinne und in ähnlichem Maße, wie die Helligkeit von Himmelspunkt zu Himmelspunkt sich ändert, ändert sich auch die Blaufarbe und mit ihr die spek-

¹⁾ Compt. rend. 109, 495 (1889).

trale Zusammensetzung des Himmelslichtes. Das tiefste Blau deckt sich im allgemeinen mit dem dunkelsten Himmelspunkt. Zum exakten Nachweis dieser Behauptung weisen Wild's leider nicht zahlreiche, aber unübertroffene St. Petersburger Beobachtungen aus den Jahren 1875/76 den Weg: In jeder Sonnendistanz wird eine bestimmte Wellenlänge der Sonnenstrahlung am meisten geschwächt gefunden, und diese Wellenlänge wird um so kleiner, je näher der anvisierte Punkt dem dunkelsten Himmelspunkt liegt. In der Nähe dieses fand Wild die Wellenlänge $628\mu\mu$ am meisten aus der Sonnenstrahlung ausgelöscht, d. h. die Komplementärfarbe zu Blau — dunkelster Punkt und reinstes Blau fallen mindestens annähernd zusammen.

Die ultraviolette Strahlung des Himmels. Die Himmelsstrahlung zeigt im Ultraviolett dasselbe von überaus zahlreichen Fraunhoferschen Linien durchzogene Spektrum wie die Sonnenstrahlung, und es endet auch mindestens annähernd genau an derselben Stelle. Nach der Theorie müßte es ein wenig weitere Ausdehnung besitzen, doch ist es bisher nicht gelungen, dies mit aller Sicherheit nachzuweisen — die Intensitäten der letzten Ausläuferlinien werden gar zu klein, wenn sie (an sich klein) über die weite Himmelsfläche zerstreut werden.

Die Verteilung der Energie innerhalb des ultravioletten Himmelspektrums hat bisher ebensowenig wie die des Sonnenspektrums mit genügender Sicherheit bestimmt werden können, es läßt sich daher auch nichts über die diesbezüglichen Unterschiede beider Spektren sagen.

Zur zuverlässigen Bestimmung der Gesamtintensität der ultravioletten Himmelsstrahlung fehlten gleichfalls bis vor kurzem geeignete Hilfsmittel. H. v. Schrötter hat sie auf die schon S. 58 erwähnte Weise nach Wiesners Methode zu messen gesucht; Wenger hat die Versuche in ausgedehnterem Maße auf Teneriffa fortgesetzt, sie müssen aber wohl zu befriedigenden Resultaten nicht geführt haben, denn Veröffentlichungen sind nicht bekannt geworden. (Wenn schon jede einzelne Bestimmung der ganzen chemischen Reaktion und der auf den sichtbaren Spektralteil entfallenden mit großer Unsicherheit behaftet ist, so muß es die Differenz beider erst recht sein — außerdem setzt das Filter die Genauigkeit der Ablesungen wohl noch mehr herab.) Das Zinkkugelfotometer gestattete wohl die Ausmessung der

Intensität einzelner größerer Himmelsausschnitte, nicht aber die des ganzen Himmels, weil bei freier Exposition der Zinkkugel der notwendige elektrostatische Schutz fehlte. Die Konstruktion der Cadmiumzellen hat nun auch für diese Messungen einen sicheren Weg gebahnt. Die Herren Elster und Geitel hatten die Güte, dem Berichterstatter zu den ersten vollgelungenen Zellen zu verhelfen, und so sind die ersten zuverlässigen Bestimmungen dieser biologisch sehr wichtigen Größe der ultravioletten Himmelsstrahlung am Davoser Observatorium vorgenommen. Dabei kam noch eine unerwartete Schwierigkeit auf: Die Anordnung war ganz entsprechend der der Helligkeitsmessungen getroffen, nur war die Milchglasplatte durch eine Milchquarzplatte ersetzt, um die von Himmel + Sonne auffallende Strahlung gleichmäßig diffus und dadurch exakt meßbar zu machen. Es gelang nun nicht, die Quarzplatte vollgenügend matt zu schleifen; bei höherem Sonnenstande ließ sie — wie aus der Inhomogenität der Reihen zuverlässig erkannt werden konnte — teilweise auch direkte Sonnenstrahlen hindurch. Auf einem Umwege gelang es dann, doch zum Ziele zu kommen und alle vier Größen, die Bestrahlungsstärke durch Sonne (S), diffuses Himmelslicht (d), $S + d$, $\frac{S}{d}$ zu bestimmen, indem die normal auffallende Sonnenstrahlung in der S. 58 beschriebenen Weise mit der Cadmiumzelle gemessen und aus ihr die auf die Horizontalfläche entfallende berechnet und in Beziehung gesetzt wurde zu der unter der Quarzplatte gemessenen Himmelsstrahlung, während gleichzeitig die Durchlässigkeit der Quarzplatte für ebendieselbe Himmelsstrahlung bestimmt wurde.

Ultraviolette Bestrahlung der Horizontalfläche durch Sonne (S), Himmel (d), Sonne und Himmel ($S + d$) und das Verhältnis $\frac{S}{d}$ ($d = 100$ gesetzt).

Sonnenhöhe	10°	20°	30°	40°	50°	60°	65°
S	1,9	49,5	184,8	391,5	677,0	883,7	901,6
d	111,9	403,1	601,2	822,6	932,0	983,3	1080,0
$S + d$	113,8	452,6	786,0	1214,1	1667,4	1867,0	1961,6
$\frac{S}{d}$	1,7	12,3	30,7	47,6	68,4	89,9	85,1

Die Messungen beziehen sich auf das reine Ultraviolett von Wellenlängen $< 366 \mu\mu$, und es kommt daher in ihnen die Abhängigkeit von der Sonnenhöhe noch mehr zum Ausdruck als in den S. 47 bis 52 gemeldeten, auf die direkte Sonnenstrahlung bezüglichen, welche — mit dem Zinkkugelphotometer gemessen — ein wenig (zu etwa $\frac{1}{10}$ der Gesamtwirkung) vom sichtbaren Violett abhängen.

Im Jahresmittel erhöht sich nach der kleinen Tabelle auf voriger Seite beim Aufstieg der Sonne von 10° auf 65° die auf die Horizontalfäche wirkende Intensität

	auf etwa den
der Sonnenstrahlung (S)	500 fachen Betrag,
„ Himmelsstrahlung (d)	10 „ „
„ Gesamtstrahlung ($S + d$)	17 „ „
des Verhältnisses $\frac{\text{Sonnenstrahlung}}{\text{Schattenstrahlung}} \left(\frac{S}{d} \right)$	50 „ „

Der Sonnenwert erreicht im Höchsthalle kaum 90 Proz. des Himmelswertes, kommt ihm also auch bei den höchsten Sonnenhöhen nicht gleich, während diese Gleichheit im Blauviolett schon bei etwa 15° Sonnenhöhe erreicht wird (vergleiche die kleine Tabelle S. 102), und im grünen und roten Spektralteil die Sonne selbst bei ihrem niedrigsten Stande überwiegt. Die beiden Tabellen zeigen auch, in welch gewaltigem Maße im Ultraviolett das Verhältnis $\frac{\text{Sonnenlicht}}{\text{Schattenlicht}} \left(\frac{S}{d} \right)$ mit der Sonnenhöhe zunimmt, nämlich beim Anstieg der Sonne von 10° auf 60°

in Rot	von 1 : 3,5
„ Helligkeit	„ 1 : 3,6
„ Grün	„ 1 : 3,8
„ Blauviolett	„ 1 : 5,3
dagegen im Ultraviolett	„ 1 : 52,8

Das sind Zahlen, welche den grundsätzlichen Unterschied der Bedeutung der diffusen Himmelsstrahlung für den ultravioletten Spektralteil beweisen. Ähnlich krass kommt er in folgenden Ziffern zum Ausdruck, welche sich nicht wie die obigen auf die Horizontalfäche beziehen, sondern auf die senkrecht auffallende Himmels- bzw. Sonnenstrahlung. Für das Verhältnis Sonnen-

strahlung: Himmelsstrahlung ist da (bei freilich nicht genau kongruenten, aber eine Interpolation zulassenden Sonnenhöhen) gefunden worden für die

Helligkeitsstrahlen		Blauvioletten Strahlen		Ultravioletten Strahlen	
Sonnenhöhe	$S:d$	Sonnenhöhe	$S:d$	Sonnenhöhe	$S:d$
20 ⁰	1:0,222	35 ⁰	1:0,346	15 ⁰	1:3,94
30	1:0,221	—	—	18	1:3,72
—	—	—	—	23	1:2,88

In allen Fällen ist, wie wir sehen, die ultraviolette Himmelsstrahlung stärker als die ultraviolette Sonnenstrahlung und im Mittel sogar ein Vielfaches derselben. Hierin steht das Ultraviolett in starrem Gegensatz zu den übrigen Spektralteilen, und dieser Befund ist zweifellos der vollen Beachtung seitens der Biologen wert.

Die Verteilung der ultravioletten Strahlung über den Himmel hat noch nicht von Punkt zu Punkt systematisch untersucht werden können. Wir müßten sie nach dem, was S. 90 und 115 gesagt worden ist, gleichmäßiger finden als bei den langwelligen Strahlen. In Sonnennähe angestellte Untersuchungen haben dies auch bestätigt, die 30⁰ um Zenit liegende Zone hat aber nach den bisherigen Resultaten im Ultraviolett denselben prozentuellen Anteil an der Gesamtbestrahlung der Horizontalfläche wie im Helligkeitsspektrum, nämlich etwa

$\frac{1}{6}$ bei kleinen Sonnenhöhen,
 $\frac{1}{5}$ „ mittleren „
 $\frac{1}{4}$ „ hohen „

Im Jahresgang und Tagesgang harmonieren ultraviolette Himmelsstrahlung und ultraviolette Sonnenstrahlung fast vollkommen.

Ein hellblauer wolkenloser Himmel scheint bei gleicher Sonnenhöhe ein wenig größere ultraviolette Intensität zu besitzen als ein dunkelblauer. Wolken beeinflussen die ultraviolette Himmelsstrahlung nur in sehr geringem Maße, solange die Sonne frei bleibt, und zwar in erhöhendem Sinne. Leichter Dunst schwächt die Intensität schon recht merkbar, und leichter gleichmäßiger Stratus (bei einer Helligkeitsstufe von S_2) noch mehr.

Änderungen der extraterrestrischen Strahlung und der Durchlässigkeit der Erdatmosphäre.

In der Einleitung haben wir für unsere gesamten Betrachtungen die Voraussetzung gemacht, daß die Strahlungsquelle (die Sonne) und das von den Strahlen passierte Medium (die Atmosphäre) stets konstant wären. Wir müssen nun zum Schluß noch untersuchen, wie weit diese Voraussetzung zutrifft.

Der mit dem Jahresumlauf der Erde um die Sonne verbundene Entfernungswchsel ist mit 650000 Meilen (etwa $3\frac{1}{4}$ Proz. der mittleren Entfernung) bekannt und für den Intensitätswechsel der die Erdatmosphäre erreichenden extraterrestrischen Sonnenstrahlung rechnerisch leicht zu berücksichtigen. Anders ist es mit den Veränderungen, welche die Sonnentätigkeit mit sich bringt: Zwar ist ihre $11\frac{1}{9}$ jährige Hauptperiode durch eine schon Jahrhunderte währende regelmäßige Beobachtung der Fleckenzahl sichergestellt, doch sind die Unterschiede zwischen Maximum und Minimum von Periode zu Periode verschieden, und es stimmen auch die Einzelphasen der Perioden nicht genau überein. Von Tag zu Tag wechselt die Sonnentätigkeit in größerem oder kleinerem Maße, und sie beeinflußt die von der Sonne ausgehende Strahlung, von welcher übrigens — wie nebenbei bemerkt sei — nur der $2\frac{1}{3}$ milliardste Teil zur oberen Grenze der Erdatmosphäre gelangt, während die ganze übrige ungeheure Energie in uns unbekannter Weise sich im Weltenraume verliert. Schon S. 15 erwähnten wir, daß und in welchem Maße eine Zunahme der Sonnentätigkeit eine Zunahme der Gesamtintensität involviert. Bisherige, der relativ kurzen Beobachtungszeit wegen noch nicht ausschlaggebende Messungen sprechen dafür, daß hierbei die kurzwelligen Sonnenstrahlen, insbesondere die ultravioletten, in besonderem Maße verstärkt werden, während die Helligkeitsstrahlen eher eine kleine Einbuße erleiden. Blicke nun während solcher Intensitätsänderungen der von der Sonne emittierten Strahlung die Erdatmosphäre stets unverändert, so wäre ihre qualitative und quantitative Änderung leicht feststellbar und im Zusammenhange mit den auf der Sonnenscheibe beobachteten Vorgängen ihrer Grundursache nach meist leicht deutbar, auch würde unter

dem Wechsel der Intensität der Einstrahlung die Himmelsstrahlung in der uns bekannt gewordenen gesetzmäßigen Weise sich ändern. Keineswegs aber bleibt die Zusammensetzung der Erdatmosphäre unberührt von dem Wechsel der Sonnentätigkeit. Svante Arrhenius hat als erster die Hypothese aufgestellt, daß bei regerer Sonnentätigkeit korpuskulare Teilchen von der Sonne in die Erdatmosphäre geschleudert werden, und heute kennen wir solche (hauptsächlich auf Grund der Polarlichtstudien) als negative Ionen der Kathodenstrahlen und als α -Teilchen und wissen (hauptsächlich aus den Polarisationsbeobachtungen der Himmelsstrahlung), daß sie im Verein mit rege emittierten kurzwelligigen ultravioletten Strahlen chemische Umsetzungen und Kondensationen in der Erdatmosphäre auslösen, welche ihre Durchlässigkeit in nicht unbedeutendem Maße beeinträchtigen. Wir sprechen alsdann von atmosphärisch-optischen Störungen solaren Ursprunges. Während sich also bei zunehmender Sonnentätigkeit die einfallende Strahlung im allgemeinen mehrt, geht gleichzeitig durch lebhaftere Zerstreuung in der Erdatmosphäre mehr von der durchfallenden Strahlung verloren. Beide Effekte wirken gegeneinander. Sie wären genau voneinander zu trennen, könnte man den Transmissionskoeffizienten auf dem uns bekannten Wege stets absolut sicher feststellen, doch ist dies nur möglich, wenn die Durchlässigkeit der Atmosphäre sich in vollkommen homogener Weise änderte. Dies ist aber sicherlich nicht streng der Fall, denn die einfallenden, negativ elektrischen Kathodenstrahlen folgen den Kraftlinien der Erde und wirken daher vornehmlich in der Richtung dieser kondensierend. Begleitende Messungen der Himmelsstrahlung und Himmelspolarisation können zum näheren Aufschluß über den Wert des Transmissionskoeffizienten und zur Erklärung von Diskrepanzen dienen. Die Himmelsstrahlung nimmt bei derartigen Störungen ein wenig zu (bei gleichzeitig noch merklicherer Veränderung der Helligkeitsverteilung über den Himmel), und es ist daher nicht verwunderlich, daß bei diesen ja immer nur kleinen Schwankungen von wenigen Prozent die Beleuchtungsstärke durch Sonne + Himmel am stationärsten bleibt.

Eine indirekte Einwirkung einschneidenderer Bedeutung übt aber die vermehrte Sonnentätigkeit häufig auf die Erdatmosphäre aus: Gleichzeitig mit ihr pflegen sich nämlich die Vulkanausbrüche

auf der Erde zu mehren, und diese erbringen Änderungen der atmosphärischen Durchlässigkeit, „atmosphärisch-optische Störungen tellurischen Ursprungs“, von zuweilen wesentlich höherer Größenordnung, sehr großer lokaler Ausdehnung und langer Dauer. Es lagern sich also bei verstärkter Sonnentätigkeit mannigfache Effekte übereinander: Einerseits vermehrte Emission der primären Sonnenstrahlung (in Stärke wechselnd von Tag zu Tag und von Spektralbezirk zu Spektralbezirk), andererseits geringere erdatmosphärische Durchlässigkeit, erstens infolge direkter Wirkung der Sonnenstrahlung, zweitens infolge indirekter Wirkung auf die Vulkantätigkeit der Erde (wechselnd von Ort zu Ort und nach längerer oder kürzerer Dauer), und man erkennt daher leicht, daß die Deutung der wahren, von der Sonne ausgehenden Strahlung, die Ableitung des qualitativen und quantitativen extraterrestrischen Sonnenspektrums nicht immer ganz leicht ist, und daß auch die Unterscheidung, wieviel der verminderten Durchlässigkeit der Erdatmosphäre auf solare, wieviel auf terrestrische Ursachen zurückzuführen ist, Schwierigkeiten bietet. Es hat sich glücklich gefügt, daß im Juni 1912 ganz ausnahmsweise zu einer Zeit des Minimums der Sonnentätigkeit ein als erloschen angesehenener, fast unbekannter Vulkan auf Alaska, der Katmai, einen gewaltigen Ausbruch hatte, so daß an ihm die Erscheinungen unüberdeckt von solchen solaren Ursprungs studiert werden konnten. Es hat sich ergeben, daß er wohl auf der ganzen nördlichen Halbkugel von den höchsten Breiten herab bis zu den Roßbreiten, mindestens in Nordamerika, Europa, Nordafrika und dem westlichen Asien die Intensität der Sonnenstrahlung während fast vier Monaten bis zu 50 Proz. herabgedrückt und nach merklichem (mit Auflösung der begleitenden hellen Stratusschichten verbundenen) Aufklaren noch etwa 20 Proz. Strahlungsverlust verursacht hat, welcher sich erst innerhalb zweier Jahre ganz allmählich verlor. Ähnlich starke Ausbrüche wiederholen sich gar nicht sehr selten; derjenige des Monte Pelée aus 1903, des Krakatau aus 1883, des Vesuvs aus 1872 sind noch in lebhafter Erinnerung; aus der Zeit von 1750 bis 1830 ist über sieben gewaltige Ausbrüche berichtet, unter welchen der des Asama aus dem Jahre 1783 wohl die schwersten, weitverbreitetsten und langanhaltendsten Einflüsse auf die Witterung des größten Teiles der Erde aufgewiesen hat. Gründliche Nachforschungen haben er-

geben, daß durch diese Vulkanausbrüche die Temperatur der ganzen Erdoberfläche merklich beeinflußt wird, und man ist zu der Schlußfolgerung gekommen, daß die irdische Vulkantätigkeit ein wichtiger, vielleicht sogar der ausschlaggebende Faktor gewesen ist für den Klimawechsel vergangener Zeiten. Neben diesen gewaltigen, große Flächen der Erde in Mitleidenschaft ziehenden Naturereignissen laufen kleinere mehr lokaler Natur; wie vertriebene Rauchfäden finden sich hier und da merkwürdig lange schwebend in der Luft verbleibende und die optische Durchlässigkeit der Atmosphäre beeinträchtigende Staubmassen, deren sichere Deutung auf kleinere Vulkanausbrüche bisweilen gelungen ist.

Nachdem wir in dieser Zusammenstellung vor Augen geführt haben, daß sich sowohl die die Strahlen emittierende Sonne als auch das ihre Strahlen modifizierende Medium fast dauernd ein wenig und gar nicht so selten recht wesentlich ändern, wird es gebilligt werden, daß in dem S. 57 aufgestellten Programm für vergleichende Strahlungsmessungen Synchronie gefordert worden ist. Möge diese Abhandlung ein wenig dazu beitragen, der Sonnen- und Himmelsstrahlung gebührende Achtung zu schaffen, Interesse für ihre systematische Beobachtung zu erwecken und dem hierfür aufgestellten Programm neue Freunde zu werben!

Nachschrift.

Leser, welche dieser Schrift bis zum Schluß mit Interesse gefolgt sind, dürften die Frage aufwerfen, ob und inwieweit unsere weit vorgeschrittene Leuchttechnik die Sonnenstrahlung zu ersetzen vermag. In quantitativer Hinsicht besteht kein Hindernis: Eine einfache Rechnung beweist, daß eine 1000 kerzige Metallfadenlampe in 20 cm Entfernung etwa die Intensität der hochstehenden Sonne besitzt. Qualitativ haben wir die Sonnenstrahlung im wesentlichen als die Emission eines festen oder flüssigen Körpers von der Temperatur von 6000° bis 7000° erkannt, deren kontinuierliches Spektrum in für die Praxis zu vernachlässigender Weise durch sehr viele winzig schmale Absorptionslinien und einige Absorptionsbanden unterbrochen ist

und sowohl am kurzwelligen als auch am langwelligen Ende einen vorzeitigen Abbruch aufweist. Dieser vorzeitige Abbruch wäre durch geeignete Absorptionsfilter leicht herstellbar; die Erzeugung von Sonnentemperaturen (und damit der der Sonnenstrahlung gleichen Intensitätsverteilung innerhalb des Spektrums) stößt dagegen für Gegenwart und absehbare Zukunft noch auf schwer überwindbare Schwierigkeiten. Glühfadenlampen aus Platin können die Schmelztemperatur des letzteren etwa 1755°C nicht übersteigen, Kohlefadenlampen erreichen bei starker Überhitzung und schnell fortschreitender Verdampfung etwa 2500°C , einige Metallfadenlampen halten ähnliche Temperaturen wohl auch für längere Zeit aus, ohne sich zu verändern. Aus dem S. 8 erwähnten Wienschen Verschiebungsgesetz folgt unmittelbar, daß die spektrale Zusammensetzung dieser Lichtquellen von der der Sonne doch noch sehr verschieden sein muß. Im elektrischen Lichtbogen gelingt es freilich, zu weit höheren Temperaturen zu gelangen und wir sind über dieselben durch Lummers Untersuchungen gut orientiert: Nach diesen besitzt der feste (nicht flüssige) positive Kohlenkrater der in freier Luft brennenden Bogenlampe die Normaltemperatur von 4200° abs. und vermag dieselbe auch bei noch so großer Energiezufuhr nicht zu überschreiten. Noch höhere Temperaturen gelingt es zu erreichen, wenn man die Bogenlampe bei Überdruck brennen läßt. Lummer kam bei 22 Atm. Überdruck mit salzgetränkten Kohlen zu Temperaturen von 6000° abs. und fand durch Extrapolation, daß bei 70 Atm. Überdruck 6500° abs., bei 250 Atm. 7000° abs. erreichbar wären. Ob diese „künstliche Sonnenlampe“ dann im sichtbaren Licht die gleiche spektrale Zusammensetzung besitzen würde wie das natürliche Sonnenlicht, müßte erst untersucht werden, und die Herstellung solcher Lampen bis zur praktischen Verwendung schließt wohl noch viele schwierige experimentelle und technische Aufgaben in sich.

Die Spektren der therapeutisch viel Nutzen bringenden und zu lichtbiologischen Studien sehr geeigneten Quecksilberdampflampen sind — das sei noch kurz bemerkt — von dem Sonnenspektrum qualitativ und quantitativ gänzlich verschieden, denn sie besitzen statt eines kontinuierlichen ein Banden- und Linienspektrum, haben einen ins Ultraviolett sehr viel weiter ausgedehnten Spektralbereich (Uviollampe bis etwa $253\mu\mu$, Quarz-

lampe bis etwa $215\ \mu\mu$) bei fast gänzlichem Ausfall des Ultrarots, ja schon des sichtbaren Rots, und die Energieverteilung ist bei ihnen derart, daß etwa 50 Proz. der Gesamtenergie ins Ultraviolett fallen (gegenüber 1 Proz. im Sonnenspektrum). Die weitaus wirksamsten Strahlen der Quarzlampen sind dem Organismus feindliche, vor denen uns die Natur durch die Erdatmosphäre bewahrt hat, unter deren Dauerwirkung der Mensch und wohl alles organische Leben schweren Schaden nehmen, vermutlich untergehen würde. Richtig dosiert sind sie aber als Inzitantum und Heilfaktor ebenso hoch einzuschätzen wie die gifthaltende, Krankheit bekämpfende Medizin und das Seziermesser.

Neutrallinien (gezeichnet in Parallelen)

17. Mai 1916.

- 9^a 9 —
- 9^a 44 — 1
- 12^p 56 —
- 2^p 5 —
- 3^p 15 —
- - - 5^p 14 —
- - - 6^p 13 —
- - - 7^p 19 —

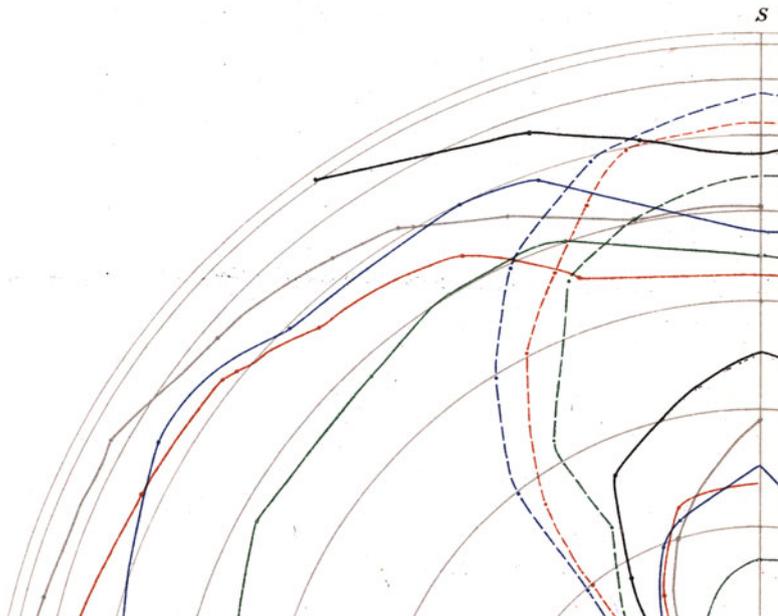
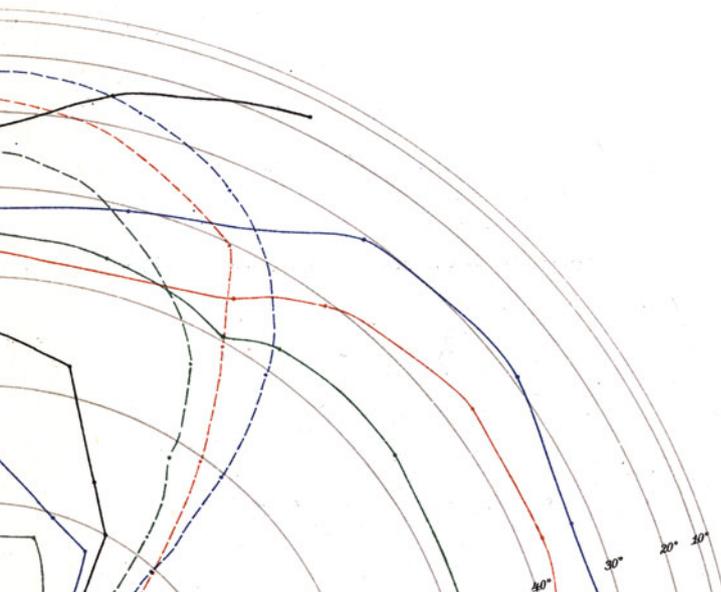
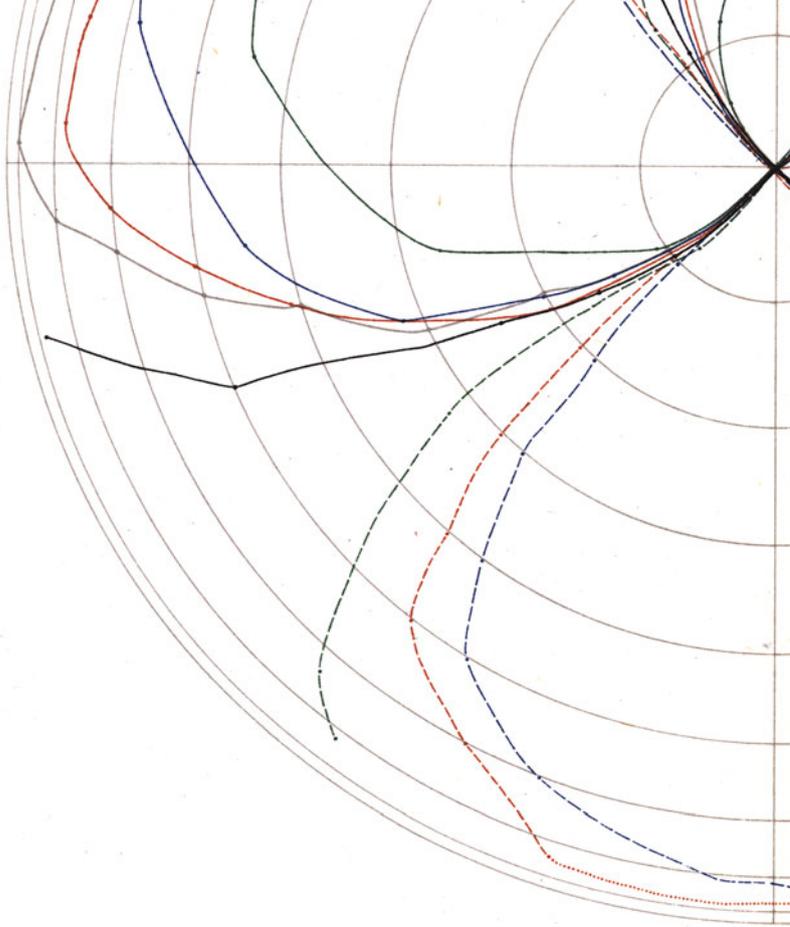


Fig. 13 (zu S. 73).

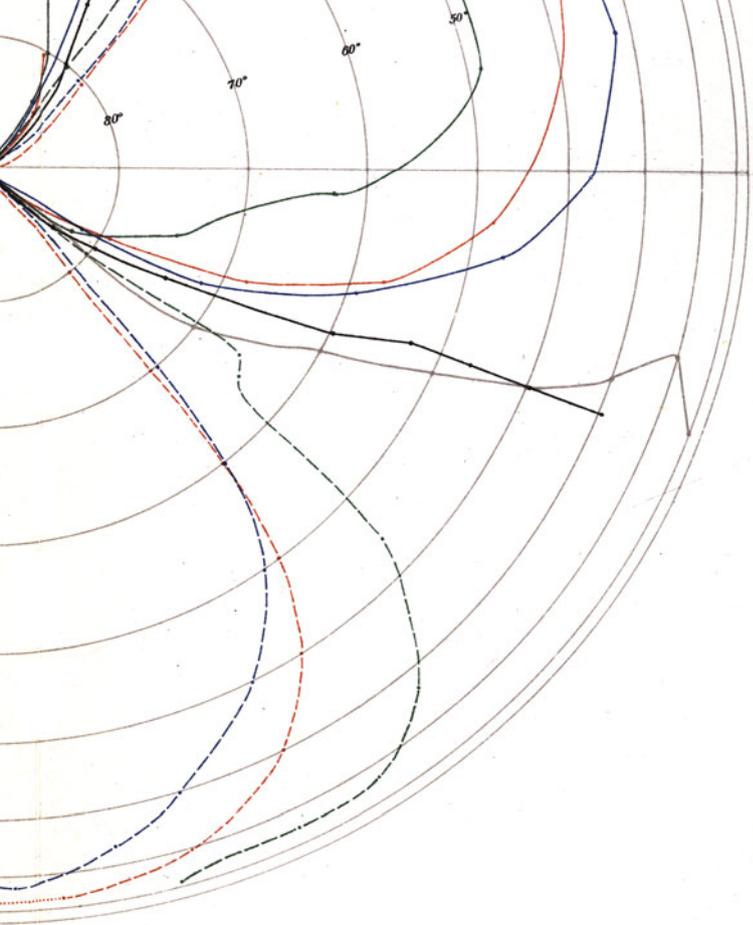
Projektion auf die Horizontalebene).

9 ^a 34	$h = 45^{\circ} 39' - 49^{\circ} 27'$
0 ^a 11	$h = 50^{\circ} 55' - 54^{\circ} 34'$
1 ^p 14	$h = 60^{\circ} 10' - 58^{\circ} 34'$
2 ^p 30	$h = 52^{\circ} 27' - 48^{\circ} 51'$
3 ^p 42	$h = 41^{\circ} 48' - 37^{\circ} 20'$
5 ^p 34	$h = 21^{\circ} 40' - 18^{\circ} 16'$
6 ^p 33	$h = 11^{\circ} 46' - 8^{\circ} 30'$
7 ^p 28	$h = 2^{\circ} 50' - 0^{\circ}$





Dorno, Physik.



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

Isophoten (i_g) und Isopolen in stereographischer Projektion

Es entsprechen:

$\frac{i_1}{i}$	$\frac{i_1 - i}{i_1 + i}$
6.50	0.733
6.00	0.714
5.00	0.667
4.00	0.600
3.00	0.500
2.50	0.429
2.00	0.333
1.50	0.200
1.20	0.091
1.00	0.000

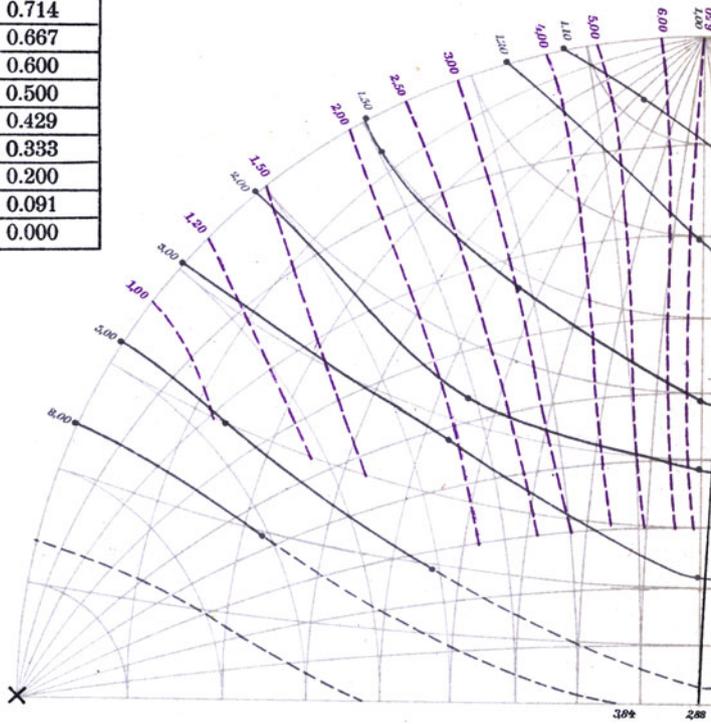


Fig. 14 (zu S. 78).

aren für 0° Sonnenhöhe
 ojektion. Jahresmittel.

———— = Isophoten (i_g)

- - - - - = Isopolaren

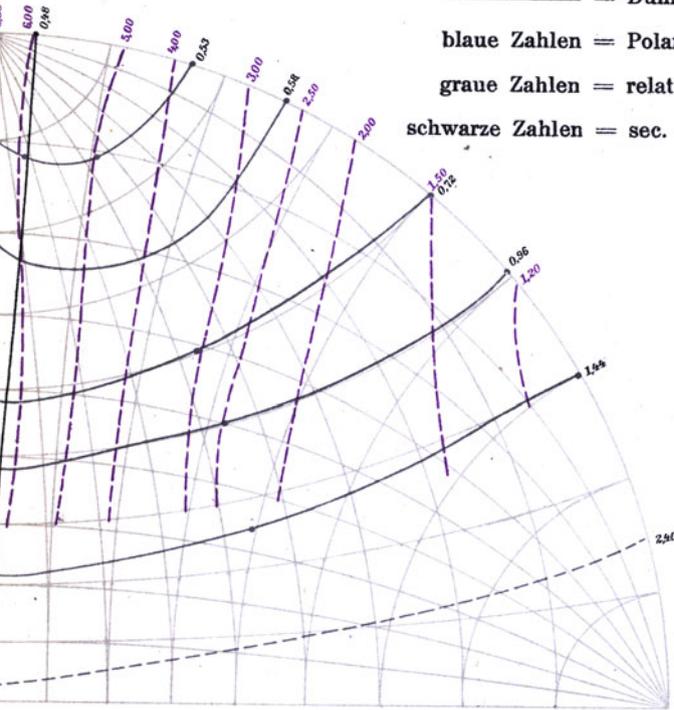
× = Sonne

———— = Dunkellinie i_g

blaue Zahlen = Polarisationsgröße $\frac{i_1}{i}$

graue Zahlen = relative Helligkeit Zenit = 1

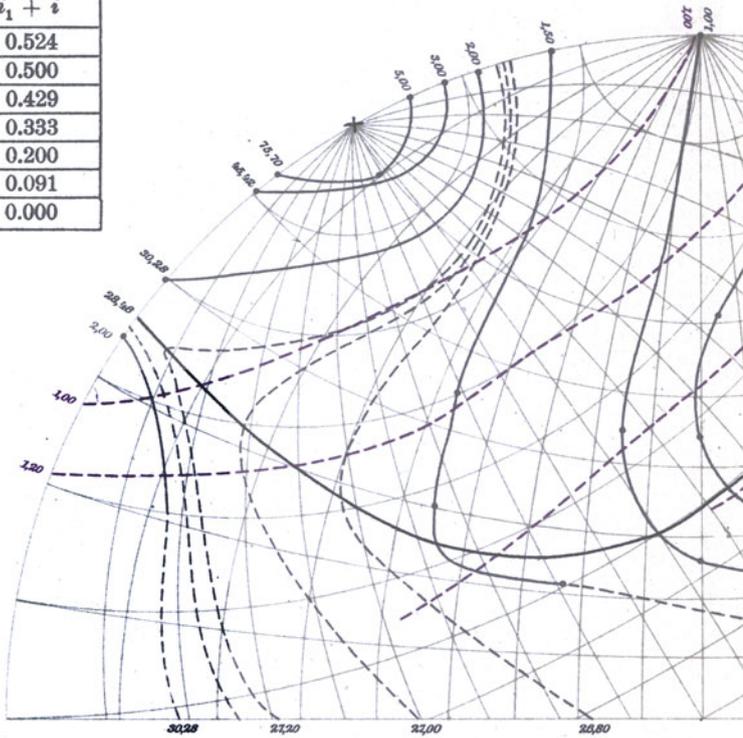
schwarze Zahlen = sec. Einh. × 1000



Isophoten (i_g) und Isopolare in stereographischer Projektion

Es entsprechen:

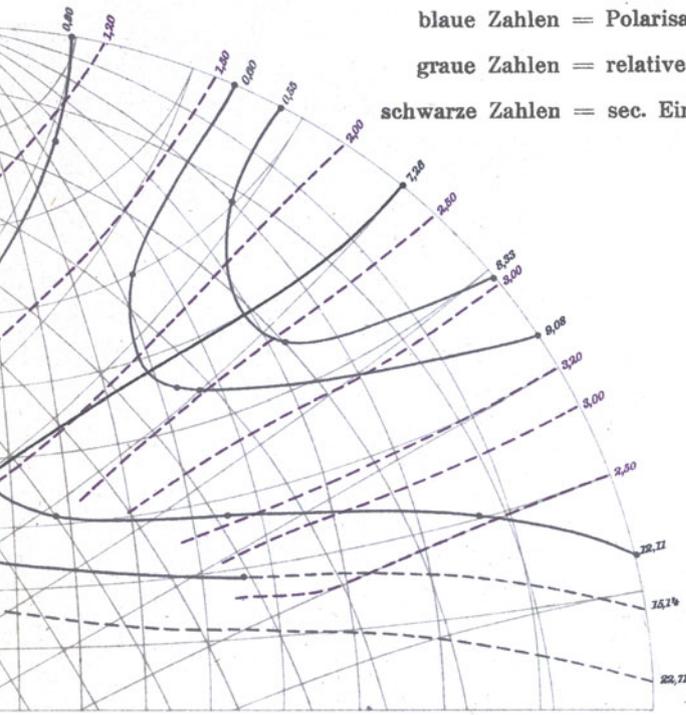
$\frac{i_1}{i}$	$\frac{i_1 - i}{i_1 + i}$
3.20	0.524
3.00	0.500
2.50	0.429
2.00	0.333
1.50	0.200
1.20	0.091
1.00	0.000



Dorno, Physik.

Fig. 15 (zu S. 78).

n für 60° Sonnenhöhe
 ektion. Jahresmittel.



- = Isophoten (i_g)
- - - - - = Isopolaren
- × = Sonne
- = Dunkellinie i_g
- blaue Zahlen = Polarisationsgröße $\frac{i_1}{i}$
- graue Zahlen = relative Helligkeit Zenit = 1
- schwarze Zahlen = sec. Einh. $\times 1000$