



Die „Sammlung Vieweg“ hat sich die Aufgabe gestellt, Wissens- und Forschungsgebiete, Theorien, chemisch-technische Verfahren usw., die im Stadium der Entwicklung stehen, durch zusammenfassende Behandlung unter Beifügung der wichtigsten Literaturangaben weiteren Kreisen bekanntzumachen und ihren augenblicklichen Entwicklungsstand zu beleuchten. Sie will dadurch die Orientierung erleichtern und die Richtung zu zeigen suchen, welche die weitere Forschung einzuschlagen hat.

Verzeichnis der bisher erschienenen Hefte siehe 3. und 4. Umschlagseite.

Als Herausgeber der einzelnen Gebiete, auf welche sich die Sammlung Vieweg zunächst erstreckt, sind tätig, und zwar für:

Physik (theoretische und praktische, und mathematische Probleme):

Herr Professor Dr. Karl Scheel, Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Charlottenburg;

Chemie (Allgemeine, Organische und Anorganische Chemie, Physikal. Chemie, Elektrochemie, Technische Chemie, Chemie in ihrer Anwendung auf Künste und Gewerbe, Photochemie, Metallurgie, Bergbau):

Herr Professor Dr. B. Neumann, Techn. Hochschule, Breslau;

Technik (Wasser-, Straßen- und Brückenbau, Maschinen- und Elektrotechnik, Schiffsbau, mechanische, physikalische und wirtschaftliche Probleme der Technik):

Herr Professor Dr.-Ing. h. c. Fritz Emde, Techn. Hochschule, Stuttgart;

Biologie (Allgemeine Biologie der Tiere und Pflanzen, Biophysik, Biochemie, Immunitätsforschung, Pharmakodynamik, Chemotherapie):

Herr Professor Dr. phil. et med. Carl Oppenheimer, München.

Klimatologie im Dienste der Medizin

Von

Prof. Dr. C. Dorno

Davos

Mit 11 Abbildungen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

**Herausgeber dieses Heftes:
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Scheel, Berlin.**

ISBN 978-3-663-03005-8 ISBN 978-3-663-04193-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-04193-1

Alle Rechte vorbehalten.

Copyright, 1920, by Springer Fachmedien Wiesbaden

Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Germany. 1920

Vorwort.

Der vor kurzem in der Sammlung „Die Wissenschaft“ erschienene Band 63 „Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung“ hat auf fast allen Gebieten der Naturwissenschaften (von der Astronomie bis zur Geologie und Botanik) sowie bei Biologen und Medizinern viel Interesse erregt und einem — wie vielfach versichert — nicht nur theoretischen, sondern auch praktischen Bedürfnis entsprochen, welches sich in Nutzenanwendung der schon vorhandenen „Strahlungskonstanten“ und dem Wunsche, solche von möglichst allen interessierenden Orten zu erhalten, äußert. Die Strahlung ist nur ein einzelnes, wenn auch das Ausgangselement der Meteorologie und Klimatologie; wie von ihr, so hängen auch von den anderen meteorologischen Elementen in reichem Maße alle Individuen ab, denen die biologischen Wissenschaften, voran die Medizin, dienen wollen, diese sollten daher auf das ganze Gebiet der Meteorologie dauernd ihr Augenmerk richten. Der Wunsch hierzu besteht auch zweifellos in weiten Kreisen, doch fehlt es noch gewissermaßen an dem rechten Kontakt. Diesen vorzubereiten, bemüht sich die vorliegende Schrift, indem sie die Vielseitigkeit der gegenseitigen Beziehungen kurz skizziert, an einzelnen Beispielen in teilweise neuer, die Körpertemperatur des Menschen zum Ausgangspunkt nehmender Weise durch Zahlen belegt, welche gewaltigen Ansprüche die nach Zeit und Ort großen Variationen der klimatischen Faktoren an das Anpassungsvermögen des Menschen stellen, eine kurze Übersicht gibt über die Mannigfaltigkeit der in der Meteorologie gebräuchlichen, sowohl der Praxis wie auch der Spezialwissenschaft

dienenden Tabellierungen und graphischen Darstellungen und über etliche, die Hauptfaktoren kombinierende oder ganz speziellen biologischen Zwecken dienende Meßmethoden berichtet und zu weiteren diesbezüglichen Vorschlägen auffordert.

Die Erfolge, welche die sogenannten Naturheilkundigen haben, können nicht in Zweifel gezogen werden, und die wissenschaftlichen Untersuchungen der jüngsten Zeit sind geeignet, auch die letzten noch vorhandenen Spuren eines vorurteilslosen Skeptizismus und offenkundiger Abneigung der Herren Kliniker zu beseitigen. Bei richtiger Verständigung zwischen Medizin und Meteorologie sollte es allmählich gelingen, aus der Heilwirkung der klimatischen Faktoren für die mehr als je leidende Menschheit den größtmöglichen Vorteil zu ziehen.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	III
Einleitung	1— 2
Zusammensetzung der Luft	3— 6
Temperatur	7—11
Luftfeuchtigkeit	11—16
Luftdruck, Bewölkung, Niederschlag, Wind	16—17
Radioaktivität und Elektrizität der Luft der Atmosphäre und des Erdbodens, der Niederschläge und Quellen	18—21
Sonnenstrahlung.	
Meßmethoden und Instrumentarium	22—25
Resultate	25—31
Himmelsstrahlung.	
Wärmestrahlung (Ausstrahlung)	32—35
Helligkeits- und ultraviolette Strahlung	35—41
Beispiel für eine lichtklimatische Analyse	41—50
Die einfachen photographischen Meßmethoden und ihre Leistungs- fähigkeit	51—55
Die physiologische und therapeutische Verwendbarkeit des spek- tral zerlegten Lichtes	55—59
Absorption von Anstrichfarben, Material, Kleidung	59—61
Organisation von Strahlungsmessungen	61—62
Einige Spezialfragen und -vorschläge	62—66
Wie kann die Meteorologie der Medizin am besten dienen?	
Erwägungen über geeigneteste graphische und tabellarische Darstellungen	67—71
Erwägungen über speziellen medizinischen Zwecken dienende Meßmethoden	71—74

Es ist ein heikel Ding, Vertretern einer anderen Wissenschaft, zumal so vielseitig gebildeten, wie es die Herren Mediziner sind, Nutzanwendung der Erfahrungen eines Spezialgebietes der Naturwissenschaften zu empfehlen — und das Gebiet der Klimatologie und Meteorologie ist wahrlich nicht das dankbarste. Es geht da nicht ab, ohne daß man die Grenzen abtastet und sie zuweilen zu überschreiten wagt, und hierbei ist auch ein vielseitiger Naturwissenschaftler, der physiologische und physikalisch-chemische Studien mit denen der Physik und Meteorologie verknüpft hat, nicht davor sicher, hie und da anzustoßen, denn unmöglich kann er auf allen Spezialgebieten, in die sich die weit vorgeschrittene und dauernd mächtig vorwärts schreitende medizinische Wissenschaft verzweigt hat, zu Hause sein. Um eine gewisse Nachricht wird diesbezüglich daher gleich hier zum Beginn gebeten. Auch dürfte es gerade im gegenwärtigen Augenblick wenig dankbar sein, über Meteorologie zu berichten, denn wenn nicht alles täuscht, steht diese Wissenschaft vor einer großen Entwicklung, zu welcher — als eine seiner sehr wenigen guten Folgen — der Krieg den Anlaß gegeben hat. Ihre praktische Bedeutung ist da von allen im Felde Stehenden und vielen von Ferne Zuschauenden erkannt, und der gewaltige Aufschwung, welchen das Flugwesen während des Krieges genommen hat, kommt der Erforschung der freien Atmosphäre in Gegenwart und — bei Bewilligung genügender Mittel — wohl noch mehr in Zukunft gewaltig zugute. Mehr wie zuvor haben Landwirtschaft und Meteorologie Kontakt genommen, wobei die Vereinigten Staaten Nordamerikas eifrig vorangegangen sind; auch die Medizin wird gut tun, dauernd Fühlung zu behalten mit den Fortschritten des für sie wichtigen Naturwissenschaftszweiges und ihrerseits mitzuhelfen, das Grenzgebiet auszubauen.

Die Meteorologie oder die „Physik der Atmosphäre“ hat im Vergleich zur experimentellen Physik einen weit schwierigeren Stand, nicht nur aus äußeren Gründen, wie Beobachtung an schwer zugänglichen Orten und bei Unbilden der Witterung, auch nicht nur, weil sie sich die Versuchs- und Beobachtungsbedingungen nicht schaffen kann, sondern nehmen muß, wie sie sich bieten, sondern aus einer prinzipiellen Ursache: Sie beobachtet und erforscht die Wirkungen nicht stationärer, sondern variierender physikalischer Zustände und Größen. Wer den gegenwärtigen, an die Relativitätstheorie anknüpfenden lebhaften philosophischen und mathematischen Erörterungen über die Grundlagen der Physik und über die Berechtigung zur Anwendung der Wahrscheinlichkeitslehre auf die Physik (da auch sie in Wirklichkeit nicht mit stationären Verhältnissen, sondern mit den Mittelwerten unendlich schnell variierender Zustände zu rechnen hat) gefolgt ist, der wird den Unterschied zwischen physikalischem Experiment im Laboratorium und meteorologischem in der Erdatmosphäre hauptsächlich in dem verschiedenen Maßstabe suchen: In den gewaltigen Dimensionen des Luftozeans, welche wir infolge gleichzeitiger Beobachtungen an sehr vielen Stellen mehr oder weniger gut zu überschauen vermögen, erkennen wir die verschiedenen örtlichen Einzelzustände der meteorologischen Elemente und ihre gegenseitigen Wirkungen und können uns nicht begnügen mit Durchschnittsmaßen von Temperatur, Feuchtigkeitsgrad usw. für die gesamte Atmosphäre. Es kommt die Vielzahl und Vielgestalt der meteorologischen Elemente, ihre dauernde gegenseitige Beeinflussung und ihr teilweise sehr jäher Wechsel hinzu, um die Schlußfolgerungen aus den Ursachen auf die Wirkungen ganz ungemein zu erschweren.

Die Meteorologie unterscheidet zwei Aufgaben: 1. die Verfolgung der Witterung, d. h. die Feststellung des meteorologischen Zustandes für einen Zeitpunkt oder einen Zeitabschnitt für viele Orte, möglichst weit reichende Teile der Erdoberfläche, hauptsächlich zum Zwecke der Wettervoraussage und 2. die Verfolgung der Durchschnittswerte der meteorologischen Elemente für einen bestimmten Ort oder Landstrich, d. h. die Feststellung seines Klimas. Die Klimatologie bezeichnet man daher auch als geographische Meteorologie. Welches sind nun die das Klima bedingenden Faktoren? Keineswegs sind sie auf das ureigentlichste Gebiet der Meteorologie

logie beschränkt; schon Altvater Döbereiner suchte sie in den vier Elementen der Alten: Luft, Licht, Wasser, Erde. Von diesen vier einander koordinierten klimatischen Faktoren leiht die Meteorologie hauptsächlich nur dem ersten (der Luft) ihre Aufmerksamkeit, den anderen nur, soweit sie die Luft beeinflussen; dem zweiten Faktor (dem Licht, der Strahlung) tritt sie in allerjüngster Zeit energisch näher. Die atmosphärische Luft besteht bekanntlich aus mannigfachen Gasen, welche in den untersten, von Menschen bewohnten Schichten infolge daselbst dauernd vorhandener vertikaler Luftströmungen stets annähernd in demselben Mengeverhältnis vorgefunden werden und im allgemeinen chemisch nicht aufeinander wirken. Die Analysen zeigen als Bestandteile der trockenen Luft etwa 78 Vol.-% Stickstoff, 21 Vol.-% Sauerstoff und etwa 1 Vol.-% Argon neben ganz geringen Anteilen von mehreren Edelgasen, sowie von Kohlensäure, Wasserstoff und Ozon. Man hat den Schwankungen der drei letzteren Gase trotz ihres geringen Anteils an der Gesamtluft besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Gefunden sind 1.21 bis 1.97 mg Wasserstoffgas auf 100 Liter, und zwar im Gebirge mehr als an der See, doch die Stadt Paris wies wiederum einen größeren Anteil auf; es handelt sich wohl im Mittel um Beträge von etwa 1.5 auf 10000 Raumteile Luft¹⁾. Etwa doppelt so groß ist im Mittel der Kohlensäuregehalt, und seine Schwankungen sind auch größer, etwa 2 bis 4 auf 10000 Raumteile Luft. In den Städten, bei trübem Wetter und des Nachts wird ihre Menge größer gefunden, ebenso auch in der Bodenluft größer als in der freien Atmosphäre. Die Beimengungen dieser reaktionsunlustigen Gase zu der atmosphärischen Luft und ihre Schwankungen sind wohl zu klein, um an sich einen Einfluß auf das Klima zu haben, nur als Begleiterscheinungen anderer, Wirkung ausübender Größen und ihrer Schwankungen (z. B. der Strahlung und des elektrischen Zustandes der Luft) können sie für den atmosphärischen Zustand charakteristisch sein. Im Hinblick auf den Vergleich zwischen Stadt- und Landklima und auf den großen, das irdische Leben unterhaltenden Kreislauf interessiert wohl die Angabe, daß ein

¹⁾ Nach einer in allerjüngster Zeit von A. Krogh ausgearbeiteten Methode der Gasanalyse, welche den Anteil der einzelnen Gase mit einer Genauigkeit von 0.001 Proz. zu bestimmen gestattet, scheint sich der Wasserstoffgehalt der Atmosphäre noch geringer zu erweisen.

erwachsener Mensch eine Kohlensäuremenge ausatmet, welche genügt, um die Holz- und Blattbildung eines Waldes von 3 Ar Größe zu unterhalten, während er andererseits so viel Sauerstoff einatmet, wie diese Waldfläche produziert. Gleichfalls nur als Begleiterscheinung anderer, entscheidender, Faktoren interessiert der Ozongehalt der Luft. Er hat hygienischen Wert nur dadurch, daß er die Zerstörung von Fäulnisprodukten beschleunigt und — wo er im Überschuß auftritt — anzeigt, daß solche Fäulnisprodukte nicht vorhanden sind; sonst ist das Ozon — das wollen wir nicht vergessen — ein scharfes Gift, und die Anpreisung einer ozonreichen Wald- und Gebirgsluft darf man wohl als einen zur Gewohnheit gewordenen Unfug bezeichnen. Übrigens liegen die Ozonmessungen der atmosphärischen Luft recht im argen, und die gebräuchlichste Methode der Anwendung von Jodkaliumstärkepapier gibt gar keine Gewähr dafür, daß wirklich ausschließlich Ozon gemessen wird. Wasserstoffsuperoxyd und Stickoxyde wirken mindestens mit, ja geben wohl häufig den Ausschlag. In Paris sind im Mittel 2.4, in Chamounix 3.7, auf den Montblancvorbergen 9.4 mg Ozon in 100 cbm Luft gefunden, das sind $\frac{1}{100}$ bis $\frac{4}{100}$ Millionenteile der Gesamtluft (bezogen auf gleiches Volumen), also nur etwa 0.01 Proz. des Kohlensäure- und Wasserstoffgehaltes. Hygienisch von größter Bedeutung ist nun aber der Staub- und Keimgehalt der Luft. Die Bestimmung des ersteren geschieht heutzutage fast ausschließlich mit Aitkens Staubzähler. Derselbe beruht auf dem Prinzip, daß man eine eingeschlossene feuchte Luftmenge sich plötzlich ausdehnen und dadurch abkühlen läßt; jedes Staubteilchen bildet dann den Kern eines durch Kondensation entstehenden Wassertröpfchens, und die Anzahl der Tröpfchen zählt man unter einer Lupe aus. Legion ist die Zahl der mit diesem Instrument angestellten, häufig gewaltig differierenden und nicht selten auch unerklärliche Zahlen liefernden Messungen. Um einige Zahlen herauszugreifen: Auf hohen Bergen bei günstiger Witterung werden etwa 200 Staubteilchen pro Kubikzentimeter Luft angegeben; in größeren Höhen der freien Atmosphäre sinkt die Zahl auf Null; in der Nähe von bewohnten Orten geht sie in die Tausende, im Innern der Städte in die Hunderttausende. Aus in Magdeburg angestellten Zählungen ist abgeleitet, daß über der etwa 2 qkm großen Stadt in der untersten, 50 m hohen Luftschicht 300 kg Staub

schwebten. In England sollen nach solchen Zählungen jährlich 2 420 000 kg Kohle in die Luft verstäuben. Nach kräftigem Regen mindert sich der Staubgehalt über den großen Städten auf $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{20}$ des normalen, und die Luft erreicht vorübergehend eine Transparenz wie auf den Schweizer Berggipfeln (nach Aitkens eigenem Ausspruch). Am Rotensand-Leuchtturm (an der Wesermündung) hat man im Mittel bei Landwind 4660, bei Seewind 1795 Staubeilchen pro Kubikzentimeter Luft gezählt. Am Meeresstrand herrschen die Salzpartikel vor, man hat 0.022 g Salz im Kubikmeter Seeluft gefunden. Nun ist aber nicht zu verheimlichen, daß das Vertrauen in Aitkens Staubzähler in den letzten Jahren recht wesentlich erschüttert ist. Wigand hat in jüngster Zeit aus seinem großen Material wohl unwiderleglich die schon in 1913 von ihm aufgestellte Behauptung erhärten können, daß in Aitkens Zähler nur hygroskopische Partikel zur Zählung gelangen, nicht aber trockener Staub mineralischer oder organischer Herkunft, wofern er elektrisch ungeladen ist. Nicht als „Staubzähler“, sondern als „Kernzähler“ ist hiernach das Instrument zu beurteilen. Außerdem läßt der Zähler bei Kernzahlen über 100 000 und unter 50 nur Schätzungen der Größenordnung zu, da seine Abmessungen für die häufigsten Mittelgrößenwerte eingerichtet sind.

Was den Keimgehalt der Luft anbetrifft, so sei nur erwähnt, daß auf dem Montblanc nur 4 bis 11 Bakterien pro Kubikmeter Luft gefunden sind, d. h. nur in der freien Luft daselbst, während in der von den Beobachtern bewohnten Hütte 260 bis 540 gezählt wurden. Von aktuellem Interesse als Folge der Grippeepidemien sind zurzeit wieder die Untersuchungen über den Transport der Keime, daher ist erwähnenswert, daß Untersuchungen im Freiballon bewiesen haben, daß die Keimzahl keineswegs gleichmäßig mit der Höhe abnimmt, und es wahrscheinlich gemacht haben, daß die Bakterien recht unregelmäßig wolkenartig bis zu recht großen Höhen (etwa 4000 m) verteilt sind. In Ergänzung dazu diene, daß an dem sogenannten „Blutregen“ (vom Wind hoch emporgehobenen und fortgeführten, dann an sehr weit entfernten Orten sich senkenden Staubmassen) beobachtet ist, daß dieselben Entfernungen von 4000 km überwinden können, und zwar mit Geschwindigkeiten bis zu 70 km pro Stunde, also etwa 20 m pro Sekunde. Daß die Bakterien möglicherweise aus dem

Kosmos in die Atmosphäre hineingetragen werden, ist zwar ein gewagter spekulativer, aber — wie es scheint — keineswegs gänzlich zurückzuweisender Gedanke. Um dies von seinem Standpunkt aus zu begründen, müßte der Verfasser auf seine langjährigen Beobachtungen über den Wechsel des optischen Reinheitsgrades der Erdatmosphäre und eine möglicherweise dauernde rege Beziehung zwischen ihm und der Sonnentätigkeit eingehen. Als Schluß der voraufgegangenen Betrachtungen über die Zusammensetzung der Luft wird man wohl gelten lassen, daß die gesundheitlichen Eigenschaften der Berg-, Wald- und Seeluft zu einem großen Teile durch die Abwesenheit schädlicher Beimengungen bedingt sind. Daher wird der Wechsel der Stadtwohnung und des häufig lichthofähnlichen Spielplatzes mit Unterkunft auf dem freien Lande meist mehr gesundheitliche Vorteile bieten, als die weitere Steigerung von freiem Lande an die See, in den Wald, auf das Gebirge.

Die bisherigen Betrachtungen der Luft betrafen nur die unterste, bis zur Wolkengrenze reichende — wie schon erwähnt —, durch Vertikalströmungen dauernd durchmischte Atmosphärenschicht, welche nach oben hin begrenzt wird durch die sogenannte „obere Inversionsschicht“; auf die höheren Atmosphärenschichten kommt in dem Abschnitt über „Strahlung“ die Rede. Die obere Inversionsschicht ist in mittleren Breiten in etwa 11 km Höhe gefunden (um etwa 1 km mit der Jahreszeit schwankend), am Pol dürfte sie in 9 km, am Äquator durchschnittlich in 17 km Höhe liegen; die in dieser untersten bis zur Inversionsschicht reichenden Atmosphärenschicht enthaltene Luftmasse beträgt etwa $\frac{3}{4}$ der gesamten Lufthülle der Erde. Die Betrachtungen bezogen sich bisher auch nur auf trockene Luft; des nächst der Sonnenstrahlung das Erdklima am meisten bestimmenden, alle übrigen meteorologischen Elemente am meisten beeinflussenden Wasserdampfes sei hier vorerst nur mit Durchschnittszahlen über seinen Anteil an der Zusammensetzung der Luft an der Erdoberfläche gedacht. Derselbe wechselt stark mit der geographischen Breite und dürfte in 70° n. Br. etwa 0.22, in 48° 0.92, am Äquator aber 2.63 Vol.-% betragen. Seine Bedeutung erhellt wohl schon daraus, daß in ihm nicht weniger als $\frac{1}{4}$ der gesamten, von der Sonne der Erde zuströmenden Energie dauernd festgehalten wird.

Wenden wir uns nun der Besprechung der einzelnen meteorologischen Elemente zu, so wird das der Temperatur als das wichtigste vorangehen müssen, denn relativ gering sind die Temperaturgrenzen, welche sowohl dem Menschen und den höheren Tieren als auch den meisten Pflanzen gezogen sind. Als Wärmequellen kommen allein in Betracht die des Erdbodens und die der Sonne, denn der Mond reflektiert wohl nur $\frac{1}{200\,000}$ bis $\frac{1}{600\,000}$ der Sonnenstrahlung, und die Wärmestrahlung der Sterne ist fast unmerklich klein, insgesamt vielleicht etwa $\frac{1}{100}$ der des Mondes. Die Wärme des Erdinnern, möge sie sich nach der Kant-Laplaceschen Theorie oder aus radioaktiven und chemischen Prozessen erklären, erzeugt konstante Wärmeströme gegen die Erdoberfläche und erhöht die Temperatur derselben, aber nur um ein sehr geringes, wie sich rechnerisch aus der recht konstanten Temperaturzunahme mit der Tiefe nachweisen läßt. Dieser Wärmestrom übt wohl einen merklichen Einfluß auf das Klima, nicht aber auf das Wetter aus, weil er — soweit er aus dem Erdinnern kommt — keinen Schwankungen unterworfen ist, denn schon in etwa 20 bis 30 m unterhalb der Erdoberfläche bleibt die Temperatur das ganze Jahr hindurch konstant. Die Sonne ist die allein ausschlaggebende Wärmequelle; ihrer Strahlung wird in einem besonderen Abschnitt eingehend gedacht werden, hier soll nur kurz das theoretische sogenannte solare Klima gestreift werden, d. h. die Wärmemengen, welche den verschiedenen Teilen der Erde zugestrahlt werden, vorausgesetzt, daß keine Bewölkung existiert.

Aus der Tabelle 1, welcher ein Transmissionskoeffizient von 0.6 — hierüber s. S. 29 — zugrunde liegt, ersieht man, daß, stets wolkenlosen Himmel vorausgesetzt, die Äquatorialzone natürlich die größte, die Polarzone die kleinste, und gleiche Breitengrade auf nördlicher und südlicher Halbkugel gleiche Strahlungsmengen erhalten, welche über die verschiedenen Monate angenähert spiegelbildlich verteilt sind; ferner zeigt die Tabelle, daß infolge der Neigung der Äquatorebene zur Ebene der Ekliptik am Äquator eine doppelte Periode der jährlichen Wärmezufuhr herrscht mit Maximum zur Zeit der Äquinoktien, Minimum im Sommer und Winter, daß die doppelte Periode aber schon in 20° Breite einer einfachen Platz macht, welche in den Polarzonen zu dem Extremwert 0 für die Hälfte des Jahres führt. Schließlich erkennt man,

Tabelle 1. Berechnete monatliche und jährliche Wärmesummen in mittleren Äquatortagen.
(Transmissionskoeffizient 0.6.)

Breite	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
80° N	0.0	0.0	0.2	2.7	7.5	10.3	8.5	3.8	0.5	0.0	0.0	0.0	33.5
60	0.1	1.0	3.9	8.2	12.0	13.8	12.6	9.2	4.9	1.5	0.2	0.0	67.4
40	3.3	5.7	9.4	12.9	15.3	16.2	15.6	13.5	10.2	6.6	3.8	2.7	115.2
20	9.0	11.2	13.6	15.2	15.8	15.9	15.8	15.3	14.0	11.7	9.4	8.2	155.1
Äquator	14.0	14.9	15.3	14.6	13.5	12.8	13.1	14.2	15.0	15.0	14.2	13.6	170.2
20° S	16.8	15.9	13.9	11.2	8.8	7.7	8.3	10.5	13.1	15.3	16.6	17.0	155.1
40	16.6	13.9	9.9	6.0	3.4	2.4	3.0	5.2	8.8	12.8	15.9	17.3	115.2
60	13.4	9.2	4.4	1.3	0.1	0.0	0.1	0.8	3.4	7.8	12.3	14.6	67.4
80	8.8	3.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.3	7.4	11.0	33.5

wohl entgegen der Erwartung, daß die Wärmemengen des Äquators und Pols sich zueinander nur etwa wie 5:1 verhalten, man hätte dies Verhältnis wohl größer geschätzt. Die verschiedene Tageslänge gibt die Erklärung; sie macht, daß dem Nordpol während voller 56 Tage im Jahre mehr Wärme zugestrahlt wird als irgendeinem anderen Punkt der Erde, beispielsweise am 21. Juni 20 Proz. mehr als dem Äquator.

Diese Allgemeinbetrachtungen müssen noch ein wenig weiter ausgedehnt werden, um die sogleich folgende Nutzenanwendung vorzubereiten: Die bekanntlich durch Isothermen dargestellte Verteilung der Lufttemperatur über die Erde hängt nicht nur von der Zuführung strahlender Sonnenenergie ab, sondern auch von der Verteilung von Wasser und Land, welche insbesondere die Ursache der Verschiebung des Wärmeäquators um etwa 10° nach Norden ist, sodann von Meeresströmungen (die erwärmende Wirkung des Golfstromes ist ebenso bekannt wie die kältebringende des Labradorstromes), ferner auch von der Erhöhung über dem Meeresspiegel (man

rechnet in den äquatorialen und mittleren Breiten im Gebirge mit einer Temperaturabnahme von im Mittel 0.55° pro 100 m Erhebung, schwankend zwischen 0.4° und 0.7° in Abhängigkeit von Besonnung, Wind, Bewölkung), schließlich von der Leitfähigkeit des Erdbodens und vor allem von der Luftzirkulation. Ausschlaggebend für Europa sind diesbezüglich die nordatlantischen Luftzirkulationen, welche ihrerseits verursacht werden durch Beziehung von Luftdruck und Wind zur Temperatur und zu den Eisverhältnissen im Nordatlantik. Nicht nur die mittleren Temperaturen, sondern auch die Temperaturschwankungen werden durch die aufgezählten Faktoren beeinflusst. Am ge-
läufigsten ist der Unterschied zwischen „ozeanischem“ und „kontinentalem“ Klima. Die Erklärung liegt auf der Hand: Die spezifische Wärme des Wassers beträgt 1, die der festen Erdbodenoberfläche etwa 0.2; demnach wäre zur Erwärmung auf gleiche Temperatur für das Land nur $\frac{1}{5}$ der Wärmemenge notwendig, welche das Wasser braucht; ganz so extrem stellt sich das Verhältnis denn aber doch nicht, denn nur die Oberfläche empfängt ja Wärme, und so braucht denn der trockene Erdboden nur etwa 0.6 der Wärmemenge des Wassers zu gleicher Temperaturerhöhung. Durch Zuführung einer gleichen Wärmemenge wird also das Wasser weniger erwärmt und umgekehrt durch Fortführung der gleichen Wärmemenge auch weniger abgekühlt als der trockene Erdboden. Ausgleichend wirkt das Wasser ferner in hohem Maße durch die Änderung seines Aggregatzustandes: 600 Kal. pro Kilogramm Wasser beträgt die Verdampfungswärme; eine große Menge der äußeren Wärmezufuhr dient gar nicht zur Erwärmung, sondern zur Verdampfung, und der vom Winde fortgeführte Dampf wirkt, in kalte Luftschichten kommend, bei eintretender Kondensation durch Freiwerden der latenten Verdampfungswärme erwärmend auf seine Umgebung. Das tiefere Eindringen der Strahlen in das Wasser bringt es ferner mit sich, daß der jährliche Wärmeaustausch zwischen Luft und Wasser weit größer ist als zwischen Luft und Erde. Er wurde beispielsweise gefunden:

	g/Kal. pro Jahr u. cm ²
Im Golf von Neapel	mit 42 350
Am Genfer See	„ 36 900
An der Ostsee	„ 50 500
Dagegen im freien Lande der Norddeutschen Tiefebene nur	„ 1 830
Im Kiefernwald sogar nur	„ 1 290

also nur etwa $2\frac{1}{2}$ Proz. so groß wie an der nicht sehr fernen Ostsee. Lokale Luftbewegungen können diesen Austausch recht wesentlich vergrößern.

Die erwärmende und ausgleichende Wirkung des Seeklimas erkennt man gut aus folgenden wenigen Zahlen: Die jährliche Temperaturschwankung beträgt in Helgoland nur 14.9° , in Locarno aber 19.9° , und ähnlich verhalten sich die Tagesschwankungen, und die Monate November bis Januar sind in Helgoland wärmer als in den Winterkurorten Meran, Montreux und Lugano.

Auch dem Walde hat man wohl früher eine ähnliche temperatenausgleichende Wirkung zugeschrieben wie dem Wasser, er hat aber nach neueren Untersuchungen sogar einen geringeren Wärmeaustausch und nur wenig geringere Temperaturschwankung als das freie Feld.

In Gebirgsnähe und im Gebirge selbst ist die Bodengestalt von sehr großem Einfluß auf die Temperaturschwankungen. Man versteht sie am besten, wenn man die dem mittleren Erdniveau ferneren Orte, also Berggipfel, als weniger unter dem Temperatureinfluß des Landes stehend, also als mehr ozeanischen Klimatyp, die dem mittleren Erdniveau näheren Orte (Täler und Mulden) als kontinentalen Klimatyp ansieht. Gipfel haben daher ceteris paribus gleichmäßigere Temperaturen als Täler. Es kommt verschärfend hinzu das Herabfließen kalter Luftmassen an den Abhängen während der Nacht. Aus den Davoser Messungen des Verfassers mögen einige charakteristische Beispiele genannt werden: An klaren Herbstabenden bei noch schneefreiem Boden sinkt auf der zur Station gehörigen Wiese die Temperatur in der Zeit von etwa einer halben Stunde vor bis etwa einer viertel Stunde nach Sonnenversinken hinter dem Berg um etwa 5° , und zwar sinkt sie in Kniehöhe schneller als in Kopfhöhe, dergestalt, daß etwa eine Stunde nach Sonnenversinken es in Kniehöhe um einen vollen Grad kälter ist als in Kopfhöhe. Die Messungen sind sehr genau angestellt mittels zweier Assmannscher Aspirationspsychrometer und haben an Tagen verwandten Charakters recht übereinstimmende Werte gezeigt. An den Frühmorgen echter winterlicher Kalmen etwa zwischen 6 und 7 Uhr, d. h. etwa zur Zeit des Temperaturminimums des Tages, sind sogar 3° Temperaturdifferenz zwischen Knie- und Kopfhöhe gefunden, und dem entsprechen Temperaturdiffe-

renzen von 12° bis 15° zwischen Talsohle und der etwa 40 m über ihr gelegenen Station, an welcher das Thermometer 20° Kälte kaum je erreicht, während in Extremfällen am Landwasser der Gefrierpunkt des Quecksilbers (-39°) gestreift wird. Unerfahrene erschreckt wohl das Anhören solcher Zahlen und Differenzen und sie würden mit Recht erschrecken, kämen nicht als ausgleichende Faktoren die absolute Windstille und die große Trockenheit der Luft hinzu. Bei Abwesenheit dieser ist die hygienische Bedeutung der Temperaturänderungen nicht zu leugnen; aus einem sehr großen Material ist für Preußen eine ganz frappierende Parallelität zwischen Sterblichkeit und Temperaturschwankungen sowohl nach Lage der Orte als auch nach jährlichem Gange nachgewiesen unter Verspätung der Sterbefällekurve um zwei Monate. Auf die Meßmethoden, die Thermometerkalibrierung und Zeichnung, die verschiedenen Aufstellungen, Registrierapparate usw. kann hier nicht eingegangen werden, nur die Bemerkung ist vielleicht am Platz, daß es viel leichter ist, mit $\frac{1}{10}$ Grad zu rechnen, als sie richtig zu messen; nur gute Aspirationsthermometer können dies ermöglichen.

Neben der Temperatur ist der Feuchtigkeitsgehalt der Luft von größter klimatischer Bedeutung. Um uns hierüber recht klar zu werden, müssen wir einmal ernstlich die verschiedenen Maße, in welchen er angegeben wird, uns vergegenwärtigen: Physikalisch am richtigsten ist der Begriff der absoluten Feuchtigkeit, das wäre die Menge Wasserdampf, welche in 1 cbm Luft enthalten ist, gemessen in Gramm. Wollte man diese Menge durch Durchsaugen eines genügenden Quantums Luft durch eine Chlorcalciumröhre bei jeder Beobachtung wägend bestimmen, so wäre das zu umständlich und aus praktischen Gründen unanwendbar in der weitgedehnten meteorologischen Beobachtungsorganisation. Nun will es der Zufall, daß der „Dampfdruck“, d. h. der Druck, welchen der gesättigte Wasserdampf bei den verschiedenen Temperaturen ausübt, gemessen in Millimetern Quecksilber, fast dieselben Zahlen liefert wie die oben definierte absolute Feuchtigkeit (Wassergehalt im Kubikmeter feuchtgesättigter Luft in Gramm). Man identifiziert daher diese beiden Größen und bezeichnet auch den Dampfdruck als absolute Feuchtigkeit. Neben dieser absoluten Feuchtigkeit rechnet man mit der sogenannten spezifischen Feuchtigkeit, d. h. der Anzahl Gramm Wasserdampf,

welche in 1 kg feuchter Luft enthalten ist, und dem Mischungsverhältnis, d. h. der 1 kg trockener Luft beigemengten Grammmenge Wasserdampf. In klimatischer Hinsicht und auch zur Erklärung der meteorologischen Vorgänge sprechen diese Zahlen nur eine wenig beredte Sprache, sie gewinnen erst Bedeutung durch ihre Beziehung zur Lufttemperatur; man muß wissen, wieviel ein gegebenes Quantum Luft an Feuchtigkeit aufnehmen bzw. abgeben kann. Die Begriffe des „gesättigten Wasserdampfes“ und des „Taupunktes“ sind bekannt: Ist Wasser (oder auch Eis) mit ungesättigter Luft in Berührung, so findet Verdampfung statt, welche bei ungestörtem Fortgang bis zur erreichten Sättigung dauert; wird andererseits ungesättigte Luft abgekühlt, so nähert sie sich derjenigen Temperatur, für welche die vorhandene Dampfmenge die Sättigung bedeutet. Diese Temperatur heißt „Taupunkt“. Die gesetzliche Beziehung zwischen Druck und Wasserdampfgehalt der Luft im Zustande der Sättigung bei verschiedenen Temperaturen gibt Tabelle 2, auch die übrigen, oben besprochenen Größen sind in ihr enthalten, und zwar für drei verschiedene Werte des Luftdrucks. Bei 15° hält der in der

Tabelle 2.

Größen, durch welche die atmosphärische Feuchtigkeit dargestellt werden kann.

Temperatur	Maximum des Dampfdruckes E in mm	Gewicht im Kubikmeter bei E in g	Gewicht des Wasserdampfes (Gramm) in 1 kg gesättigt-feuchter Luft bei einem Luftdruck von		
			760 mm	600 mm	400 mm
— 25	0.61	0.71	0.41	0.52	0.78
— 20	0.96	1.10	0.66	0.84	1.26
— 15	1.45	1.63	1.05	1.33	1.99
— 10	2.16	2.38	1.64	2.08	3.11
— 5	3.17	3.42	2.51	3.19	4.79
0	4.58	4.85	3.77	4.78	7.19
5	6.54	6.80	5.41	6.86	10.30
10	9.21	9.39	7.53	9.53	14.35
15	12.79	12.85	10.46	13.25	19.97
20	17.54	17.33	14.35	18.64	27.48
25	23.76	23.09	19.51	24.78	—
30	31.83	30.66	26.23	—	—

$t =$	— 30	— 35	— 40	— 45	— 50	35	40	45	50
E (über Wasser)	0.39	0.23	0.14	0.08	0.05	42.2	55.3	71.9	92.5

feuchtgesättigten Luft enthaltene Wasserdampf einer Quecksilbersäule von 12.79 mm das Gleichgewicht und etwa ebensoviel (12.85) Gramm Wasserdampf sind in 1 cbm Luft, die absolute Feuchtigkeit beträgt also 12.8. Bei dem Barometerstand von 760 mm enthält 1 kg gesättigte Luft 10.46 g Wasserdampf, die spezifische Feuchtigkeit beträgt also 10.46. Umgekehrt: Sind in 1 kg Luft bei irgend beliebiger Temperatur 10.46 g Wasserdampf, so kann man sie bis auf 15° abkühlen, bis Kondensation eintritt — der „Taupunkt“ liegt bei 15° . Als einfachste Ausdrucksweise dieser Beziehung hat sich der Begriff der relativen Feuchtigkeit gezeigt; er gibt in Prozenten an, wieviel ihres gesamten Fassungsvermögens die Luft gegebener Temperatur an Wasserdampf enthält. Die Tabelle zeigt sogleich die einfache Anwendungsmöglichkeit dieser Prozentzahlen: Hätten wir z. B. bei 15°C 50 Proz. relative Feuchtigkeit gemessen, so wäre der Dampfdruck die Hälfte von 12.8 = 6.4, Sättigung träte bei einer Temperatur kurz unter 5° ein, der Taupunkt ist also etwa 5° . Die relative Feuchtigkeit stellt also den Quotienten von vorhandenem Dampfdruck und Sättigungsdruck dar oder — was dasselbe ist — das Verhältnis von vorhandener zu möglicher Grammmenge Wasserdampf pro Kubikmeter Luft. Bildet man statt des Quotienten die Differenz beider Größen, so erhält man die Grammanzahl Wasserdampf, welche 1 cbm der vorhandenen Luft aufnehmen kann — das sogenannte „Sättigungsdefizit“. Von Hanns Autorität bezeichnet die relative Feuchtigkeit als den geeignetsten Ausdruck für die Luftfeuchtigkeit als klimatischen Faktor, und der bewährten Führung folgend, gibt man in kurzen Überblicken fast allgemein nur die relative Feuchtigkeit an. Daß dies doch einseitig ist, und der Begriff „Sättigungsdefizit“ unter Umständen ein schärferes Charakteristikum darstellt, mögen folgende Beispiele beweisen: Am 22. Juli und am 26. Oktober sind in Davos durch Einzelmessungen an gewissen Terminen übereinstimmend 40 Proz. relative Feuchtigkeit gemessen, also in klimatischer Hinsicht sollte der Feuchtigkeitszustand der Luft zu beiden Zeitpunkten gleichwertig sein. Im ersteren Falle betrug die Temperatur $+15^{\circ}$, im zweiten Falle — 4.2° . Berechnet man hieraus das Sättigungsdefizit, so erhält man 7.6 bzw. 2.0 — die Luft konnte also im ersteren Falle noch 7.6, im zweiten aber nur 2 g (also etwa nur $\frac{1}{4}$ so viel) Feuchtigkeit aufnehmen. Nun stehen

im Hintergrunde dieser Betrachtungen die Anwendungen der Zahlengrößen auf das Gebiet der Medizin; wir müssen sie daher in Beziehung setzen zu der Körpertemperatur des Menschen. Wir kommen so zu dem Begriff der „physiologischen Feuchtigkeit“, dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft bezogen auf die Temperatur von 37° C. Karl Spengler hat den Begriff wohl als erster fixiert und dafür analog der relativen Feuchtigkeit den Quotienten von vorhandener und aufnahmefähiger Feuchtigkeit gewählt; besser wäre wohl noch aus gleich anzugebenden Gründen die Differenz beider Größen, das „physiologische Sättigungsdefizit“. Auf diese Weise berechnet sich beispielsweise die mittlere physiologische Feuchtigkeit von Davos, Lugano, Locarno im Januar auf 5 bzw. 8 bzw. 9 Proz., das physiologische Sättigungsdefizit auf 44.2 bzw. 42.9 bzw. 42.5 mm Dampfdruck, wofür wir auch — wie wir gesehen haben — ohne merklichen Fehler setzen können „Gramm Wasserdampf pro Kubikmeter Luft“. Dies sind Monatsmittel. Stellte man die Berechnung für die Mittagszeit an, so würden die Unterschiede viel größer und für Davos viel günstiger ausfallen, weil daselbst der Tageswert der relativen Feuchtigkeit nur durch die sehr hohen Morgen- und Abendwerte so hoch heraufgeschraubt wird. Um die Mittagszeit sinkt sie im Extrem bis auf 27 Proz., im Engadin sogar bis auf 20 Proz. Machen wir von diesen Extremen einmal Gebrauch zur Berechnung der physiologischen Feuchtigkeit und zum Vergleich mit anderen Extremverhältnissen: Aus Palästina wird berichtet, bei Scirocco sänke die relative Feuchtigkeit auf 2 Proz. — man schaudert. Berechnet man aus der zugehörigen Temperatur von 43° C den physiologischen Feuchtigkeitsgehalt, so findet man doch noch $2\frac{3}{4}$ Proz., aus den Winterzahlen des Rhätischen Hochlandes ergibt sich aber nur $1\frac{1}{2}$ Proz. Wie eingehend ist von berufenster Seite das Klima Ägyptens in physiologischer Hinsicht untersucht, wobei gerade seine unerreichte austrocknende Wirkung als Hauptagens hervorgehoben wurde. Wir haben — wie wir sehen — im Hochgebirgswinter noch extremere Verhältnisse, wenn wir die Wirkung auf den Menschen betrachten, und auf diese kommt es hier doch allein an. In Zahlen des „physiologischen Sättigungsdefizits“ ausgedrückt, erhalten wir als Rechnungsergebnis im oben erwähnten Extremfall 46,23, d. h. jeder Kubikmeter durchgeatmeter Luft entzieht dem Körper 46,23 g Wasser.

Ich sollte denken, klarer kann die physiologische Wirkung des Luftfeuchtigkeitsgehaltes nicht ausgedrückt werden. Die physiologische Wirkung auf die Haut ist nicht ebenso übersichtlich und definiert; ein großer Unterschied wird zu finden sein je nach Aufenthalt in der Sonne oder im Schatten, denn in ersterem Falle wird die Haut, soweit sie von direkten Strahlen getroffen wird, hie und da sogar über Körpertemperatur erwärmt, im Schatten aber wird sie unter Umständen bis auf die Temperatur der umgebenden Luft herabsinken können. Hier kommen aber noch andere wesentliche Einflüsse in Betracht: Von der Kleidung abgesehen, der Wind und die Beschaffenheit der Haut.

Ganz verwirrend hat der Begriff der relativen Feuchtigkeit unter solchen Hochgebirgsverhältnissen anfangs gewirkt: Man maß doch tatsächlich die großen Prozentzahlen, das Klima mußte also feucht sein, und dennoch sah man in der Praxis des Lebens die gewaltige austrocknende Wirkung, wenn beispielsweise das Gras am Morgen gemäht, am Abend trocken eingefahren wurde, wenn die Wäsche in aller Kürze im Freien trocknete (man kennt in Davos fast gar keine Trockenböden), wenn man während der Schneeschmelze tiefe Wasserlachen auf schwerem Humusboden in kürzester Zeit sich verflüchtigen sah, wenn jahrzehntelang in gesundem Flachlandsklima gebrauchte Möbel, in das Hochgebirge transportiert, bald die gewaltigsten Sprünge zeigten. Man beachtete eben nicht die Beziehung zwischen Feuchtigkeit und Temperatur der Gegenstände, sondern nur den zwischen Feuchtigkeit und Temperatur der Luft, und das gibt in einem solchen Strahlungsklima bei den gewaltigen Temperaturkontrasten zwischen sonnenbestrahlten und im Schatten befindlichen Gegenständen ganz gewaltige Unterschiede. Und am spätesten erkannte man die Beziehung der Luftfeuchtigkeit zur Temperatur des Menschen — für die Hochgebirgskur einen der ausschlaggebenden Faktoren, denn auf die Menge und die Geschwindigkeit der Verdunstung, die „Evaporationskraft“, kommt es doch zweifellos sehr an. Auch aus diesem Grunde ist der Begriff des Sättigungsdefizits dem der relativen Feuchtigkeit vorzuziehen, denn das Sättigungsdefizit ist der Evaporationskraft direkt proportional.

Auf die Verteilung der relativen und absoluten Feuchtigkeit über die Erde, ihren Tages- und Jahresgang einzugehen,

würde zu weit führen; nur kurz sei erwähnt, daß die absolute Feuchtigkeit der Temperatur parallel zu gehen pflegt, während die relative in der Ebene entgegengesetzt dem Temperaturgange verläuft. Auf Bergen und in der hohen Atmosphäre pflegt sie infolge vertikaler Luftströmungen wiederum wie in der Ebene parallel der Temperatur zu gehen. Auch die verschiedenen Meßmethoden müssen übergangen werden; das Assmannsche Aspirationspsychrometer zeigt sich auch hier als das praktischste und zuverlässigste Instrument.

Der Raum erlaubt nicht, auf die übrigen meteorologischen Elemente mit derselben Ausführlichkeit einzugehen, wofern der Strahlung noch besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden soll. In gesetzmäßigem Verhältnis zum Feuchtigkeitsgehalt der Luft stehen, wie wir gesehen haben, Luftdruck und Temperatur, also auch Bewölkung und Niederschläge jeglicher Art, in der meteorologischen Wissenschaft als „Hydrometeore“ bezeichnet.

Die physiologischen Einflüsse des Luftdrucks und seiner Schwankungen sind vielfach erörtert worden an den Föhn- und Gewittererscheinungen. Aus der umfangreichen Literatur seien hier nur Traberts Untersuchungen¹⁾ erwähnt, denen ein gewaltiges statistisches Material zugrunde liegt, und Rosenbachs Beobachtungen und Experimente über den Zusammenhang von Erniedrigung des Luftdrucks und elektrischen Entladungen. Daß sich die Zahl der Lungenblutungen und Schlaganfälle bei Föhn- bzw. Gewitterlage steigert, wird wohl kaum bestritten werden, doch dürften die Luftdruckverhältnisse schwerlich das allein entscheidende Moment dabei bilden, sondern außer dem psychischen die großen Schwankungen der physiologischen Feuchtigkeit und des luftelektrischen Zustandes²⁾. Den schnellen Luftdruckänderungen vermag das Quecksilberbarometer nicht zu folgen, man mißt sie mit einem ebenso einfachen und billigen wie empfindlichen, von Hefner-Alteneck konstruierten Instrument, dem Variometer³⁾, welches in einer eigenartig gestalteten, zu einer feinen Spitze ausgezogenen Glasröhre, die einer durch starken Filzbelag gegen äußere

¹⁾ Denkschr. d. Akad. d. Wiss. Wien 1907, Bd. LXXXI.

²⁾ Dorno, Studie über Licht und Luft des Hochgebirges, S. 86. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1911.

³⁾ Ann. d. Phys. u. Chem. 1896, Neue Folge, Bd. 57, S. 468, beziehbar durch Warmbrunn, Quielitz & Co., Berlin NW 40.

Temperatureinflüsse geschützten luftgefüllten Flasche aufgesetzt ist, an der Bewegung eines rot gefärbten Petroleumtropfens noch die mit einer Elevation von 1 dm verbundene Luftdruckabnahme abzulesen gestattet; das Instrument zeigt nur die kleinen wellenartig verlaufenden Schwankungen an, während die großen langsam verlaufenden, welche das Barometer angibt, ausgeglichen sind. Einen noch zuverlässigeren und als Registrierinstrument ausgebildeten „Variograph“ beschreibt Wilhelm Schmidt (Met. Zeitschr. 1912, S. 406 ff.).

Die Bewölkung streifen wir in dem der Strahlung gewidmeten Abschnitt. Für die klimatische Bedeutung der Niederschläge kommt es außer auf die Niederschlagsmenge auf die Niederschlagsform (Regen oder Schnee), auf die Verteilung (Häufigkeit der Regentage), auf die topographische Gestalt des Ortes und die Durchlässigkeit des Erdbodens an. Schließlich wäre noch des Windes zu gedenken: In physiologischer Hinsicht dürfte seine Hauptbedeutung in der seiner Geschwindigkeit proportionalen Herabsetzung der Hauttemperatur und der schon oben gestreiften Steigerung der Evaporationskraft liegen. Neben seiner rein mechanischen Wirkung wird auch die psychische nicht zu unterschätzen sein, ja die Beaufortskala, nach welcher wir die Geschwindigkeiten des Windes bemessen, hat die Beobachtung dieser Wirkung ja zur Grundlage. Sie beruht bekanntlich auf Schätzungen nach der Bewegung mehr oder weniger ponderabler Gegenstände, von der zarten Rauchfahne bis zur Entwurzelung von Baumriesen; man schließt, daß die Geschwindigkeit proportional sei der Quadratwurzel aus dem Winddruck. Die Beaufortsche Schätzungsskala ordnet sich, wie eine recht interessant zu lesende mathematische Untersuchung aus jüngster Zeit¹⁾ nachgewiesen hat, der Klasse der bekannten Empfindungsskalen ein und ist von der photometrischen, durch Fechners Gesetz definierten nicht grundsätzlich verschieden, es handelt sich also um ein psychophysisches Grundgesetz.

Wenn wir uns nun besonders eingehend dem Gebiet der Strahlung zuwenden, so geschieht dies, weil dieselbe gegenwärtig im Vordergrund des Interesses steht bei Medizin, Physik und Meteorologie, und wir wollen sie hinsichtlich ihrer klimatischen Wirkung in ihrem ganzen Umfange erfassen,

¹⁾ A. Kühl, Meteorol. Zeitschr. 1919, S. 202 ff.

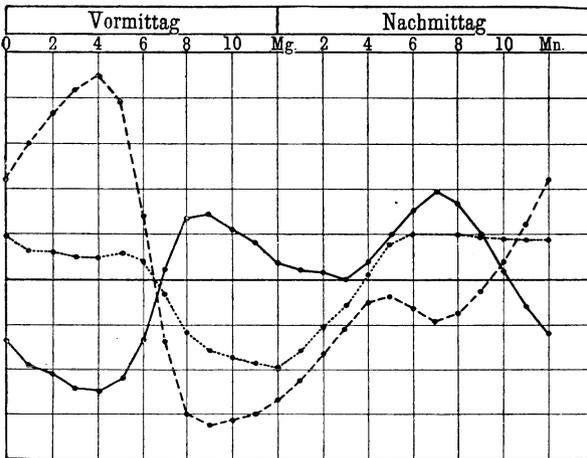
sowohl die korpuskulare, radioaktive (Untersuchung von Luft, Wasser und Erde auf Radioaktivität) wie auch die Ätherstrahlung von der kurzwelligsten, röntgenartigen, sogenannten durchdringenden Strahlung über die ultraviolette, sichtbare und ultrarote hinweg bis zu der ganz langwelligen elektrischen Strahlung (Beobachtung der Lufterlektrizität).

Die radioaktive Strahlung ist — man kann sagen — allgemein verbreitet. Den Emanationsgehalt der atmosphärischen Luft direkt zu bestimmen durch Absorption oder Kondensation aus einem bestimmten durchzublasenden Quantum Luft, hat seine Schwierigkeiten wegen des sehr geringen Gehaltes, denn derselbe dürfte zwischen $\frac{1}{10\,000}$ bis $\frac{1}{1\,000}$ ME schwanken. In Inhalatorien wendet man 1 bis 2 ME pro Liter, also etwa die zehntausendfache Stärke an, freilich nur für begrenzte Zeit. Die gebräuchliche indirekte Bestimmung des Emanationsgehaltes der Luft aus den Niederschlägen radioaktiver Zerfallsprodukte auf isoliert ausgespannten, auf hohem negativen Potential gehaltenen Drähten, die Bestimmung der sogenannten „Aktivierungszahl“, gibt keine sicheren Resultate, da sie außer von Wind und Sonnenstrahlung hauptsächlich durch den Luftdruck beeinflusst wird, denn mit abnehmendem Luftdruck nimmt die Beweglichkeit der radioaktiven Induktionen zu. Es muß sogar noch zweifelhaft gelten, ob der Emanationsgehalt der Luft wirklich vom Meere bis zum Hochgebirge zunimmt, wie es aus den zahlreichen Resultaten dieser indirekten Meßmethode abgeleitet ist.

Die sogenannte durchdringende Strahlung stellt eine sehr harte, an die γ -Strahlen des RaC heranreichende Röntgenstrahlung dar, welche ihren Ursprung wohl nur zu einem kleinen Teile in den Radioelementen des Erdbodens und dem ihm aufliegenden radioaktiven Belag hat, zum wesentlich größeren Teile aber extraterrestrischen Ursprungs sein dürfte (die nach Hess benannte Strahlung), oder — wie dem Verfasser nach seinen optischen Untersuchungen recht einleuchten will — kosmischem Staube entstammt, welcher sich in der Stratosphäre (s. S. 30) sammelt — eine Erklärung, welche Linke gegeben hat. In jedem Falle ist diese Strahlungsenergie in den von Menschen bewohnten Atmosphärenschichten zu gering, um physiologische Einflüsse auszuüben (nur etwa fünf Ionen werden durch sie in jeder Sekunde im Kubikzentimeter Luft in Freiheit gesetzt). Aber eines indirekten

Einflusses ist zu gedenken: Die durchdringende Strahlung wirkt zusammen mit der Strahlung der radioaktiven Stoffe des Erdbodens und der Atmosphäre ionisierend auf die Luft und bestimmt ihre elektrische Leitungsfähigkeit, für welche außerdem der Austausch zwischen Bodenluft und atmosphärischer Luft von wesentlicher Bedeutung ist. Da dieser stark von den meteorologischen Elementen, insbesondere der Sonnenstrahlung, abhängt, so findet sich auch in der Leitfähigkeit ein ausgesprochener Tages- und Jahresgang, welcher zu dem des elektrischen Feldes der Erde, dem Potentialgefälle, im

Fig. 1.



Jahresmittel des täglichen Ganges

des Potentialgefälles ——— 1 Teilstrich = 10 Voltmeter
 des elektrischen Leitvermögens ----- 1 „ = $40 \cdot 10^{-6}$ ESE
 des elektrischen Vertikalstromes 1 „ = $100 \cdot 10^{-9}$ ESE

allgemeinen spiegelbildlich verläuft, wie die Fig. 1 zeigt. Das Produkt beider Größen ergibt den dauernd von der Erde zur Atmosphäre übergehenden elektrischen Vertikalstrom, welcher auch in der Figur graphisch dargestellt ist. Nur an wenigen Orten der Erde sind diese Größen registrierend verfolgt, an keinem ist der Jahres- und Tagesgang so klar herausgesprungen wie in Davos, und das ist nicht verwunderlich, denn an keinem der übrigen Beobachtungsorte hat die Sonne denselben Einfluß. Die Jahreskurve des täglichen Ganges des Vertikalstromes zeigt ihn auf den ersten Blick; der Strom ist genau

entgegengesetzt dem Gange der Sonnenstrahlung, und die Summe des Tages ist etwa gleich der Summe der Nacht, nur mit umgekehrten Vorzeichen; die Kurve bietet das genaue Bild einer periodischen, unter dem ausschließlichen Einfluß einer Zentralgewalt erfolgenden Bewegung, und diese Kurve ist nicht ausgeglichen, sondern rein mechanisch gewonnen durch Übereinanderlagerung von je 12 Monatskurven des Potentialgefälles und der Leitfähigkeit, welche für sich ganz arge Zacken und Ecken aufweisen¹⁾. Nach den bisher vorliegenden Resultaten wird der von der Erde dauernd zur Luft übergehende elektrische Vertikalstrom an allen Orten gleicher Breitenlage bei ungestörtem Erdfeld im Jahresmittel von gleicher Größe gefunden, aber seine Zusammensetzung wechselt ganz bedeutend von Ort zu Ort, vermutlich am meisten mit der Höhenlage. Läßt man einen ganzjährigen synchronen Vergleich zwischen Potsdam und Davos als maßgebend für das Verhältnis von Ebene und Höhe gelten, so ergibt sich: Beim Aufstieg aus der Ebene in die Höhe erhöht sich die Leitfähigkeit der Luft auf den dreifachen Betrag und umgekehrt sinkt gleichzeitig das Potentialgefälle (oder — was dasselbe ist — die Spannung, die Voltzahl) im Verhältnis 3 : 1. Die Stromstärke ist also in Höhe und Ebene dieselbe, aber der Strom ist nur $\frac{1}{3}$ so hoch gespannt, die Energiemenge mindert sich auf den dritten Teil ihres Betrages beim Aufstieg von der Ebene in die Höhe. Rechnet man die hier in elektrostatischen Einheiten angegebenen Werte in das geläufigere Amperemaß um, so erhält man im Mittel etwa 10^{-15} Amp. für den Vertikalstrom gegenüber einer Stromstärke von 10^{-3} Amp., wie sie nach Eulenburg im Wasserbade angewandt wird — also nur den billionsten Teil. Zum Vergleich von Luft- und Wasserbad sei hier eingeschaltet, daß für Wärme das Leitvermögen des Wassers etwa 25mal größer ist als dasjenige der Luft; da der Reiz auf die menschliche Haut (nach Winternitz) nur von der Größe der Temperaturdifferenz abhängt, wäre also das Luftbad ceteris paribus, insbesondere bei Abwesenheit von Wind, 25mal länger anwendbar als das Wasserbad. Im Zimmer nimmt nach Schließen der Fenster die Leitfähigkeit zu und setzt das mehrere Stunden hindurch mit nachlassender Stärke fort, wie es bei gänzlich

¹⁾ l. c., Figurentafel 8, 10, 14, 14 a, 14 b.

abgeschlossenen Luftmengen stets beobachtet ist, sie zeigt aber noch schwach erkennbar den normalen Tagesgang. Öffnet man das Fenster, so beginnt das Spiel aufs neue, bei offenbleibenden Fenstern entspricht die Leitfähigkeit der Zimmerluft der Außenluft, ist nur um ein wenig geringer und der Gang ist etwas verzögert. Jedenfalls geben diese Registrierungen einen vortrefflichen Anhalt für die Qualität der Zimmerluft, wenn für diese auch keineswegs allein die Leitfähigkeit entscheidend ist.

Wir erwähnten, daß der Emanationsgehalt der atmosphärischen Luft recht abhängig sei von der Bodenluft. Letztere ist von einer wesentlich höheren Größenordnung und sehr abhängig von der Bodenart. In Potsdam hat man die Bodenluft etwa 100 mal emanationsreicher gefunden als die atmosphärische Luft, in München erwies sie sich 6 mal reicher als in Potsdam, in Freiburg in der Schweiz wiederum 6 mal reicher und schließlich in Davos noch etwa 3 mal so groß, also gut 100 mal größer als in Potsdam; sie ist in Davos imstande, etwa 5000 Ionen pro ccm/sec zu erzeugen, und das ist eine in pflanzenphysiologischer Hinsicht wohl sicher nicht, in klimatischer Hinsicht vielleicht nicht zu vernachlässigende Größe.

Die Niederschläge (Schnee und Regen) sind sehr wenig radioaktiv, aber es scheinen auch Ausnahmen vorzukommen, deren Ursache noch aufzuklären ist. Auf die Niederschlags Elektrizität und die Radioaktivität der Quellen einzugehen, würde zu weit führen. Die stärksten radioaktiven Quellen Deutschlands und Österreichs enthalten 125 bis 150 ME, die stärksten Schweizer Quellen etwa 50 ME gegenüber den bei den Trinkkuren mit künstlich aktivierten Wassern angewandten 1000 bis 4000 ME. Selbst im Wasserleitungswasser findet man häufig noch Spuren (0.2 bis 0.3 ME) von Aktivität.

Bei der Betrachtung der Sonnen- und Himmelsstrahlung, welcher wir uns nun zuwenden, wollen wir an die Hauptwirkungen dieser Strahlungen anknüpfen — die Wärme-, Helligkeits-, chemische und die spezifische der reinen Ultraviolettstrahlen.

So scharf wie eine spektralanalytische Zerlegung ist diese Trennung natürlich nicht, sie paßt sich aber den praktischen Bedürfnissen an. Alle Strahlen, nicht nur die ultraroten, wie es oft heißt, üben auf den sie absorbierenden, absolut schwarzen Körper eine Wärmewirkung aus, und wohl allen Strahlen ist

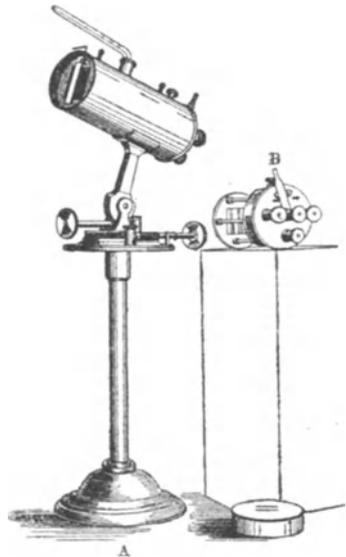
chemische Reaktionskraft eigen, bis ins Ultrarot hinein ist es nachgewiesen — nur werden die Wirkungen im ersten Falle an der kurzwelligen Spektralseite, im letzteren an der langwelligen so klein, daß sie praktisch vernachlässigt werden können.

Die größten Schwierigkeiten bieten in mannigfacher Hinsicht die Bestimmungen der Wärmestrahlung, also der gesamten Energie der Strahlung, und zwar liegt diese Schwierigkeit nicht so in der Ausführung der Messungen, bei welchen die Meßmethoden in anderen Spektralteilen weit größere Anforderungen an gewandtes physikalisches Arbeiten stellen, wie in der Konstruktion zuverlässiger Instrumente. Obwohl seit länger als einem Jahrhundert die ersten Physiker der Welt sich um solche bemüht haben, ist sie erst in den letzten Jahrzehnten gelungen. Die Schwierigkeit liegt darin, daß es nur durch sehr komplizierte Hilfsmittel, wie Dewarsches Vakuum im Verein mit einem dauernd von Wasser konstanter Temperatur durchflossenen Mantel, möglich ist, sich von der Temperaturstrahlung der Umgebung genügend frei zu machen oder daß es hierzu eines Kunstgriffes bedarf. Auf einem solchen beruht das erste, von K. Ångström stammende Standardinstrument. Pyrheliometer nennt man diese zu Sonnenstrahlungsmessungen dienenden Instrumente, und „Kompensationspyrheliometer“ hat Ångström sein Instrument getauft, weil in ihm die erwärmende Wirkung der Strahlung kompensiert wird durch die Wärmewirkung eines seiner Größe nach genau meßbaren elektrischen Stromes. Der kostbarste Teil des Instrumentes ist der in der Fig. 2 rechts von der Gesamtansicht dargestellte, sonst im Innern des Instrumentes befindliche kräftige Ebonitpfropf mit den auf ihm sitzenden zwei gleichen, geschwärzten Manganstreifen, auf deren Rückseiten elektrisch isoliert ein Miniaturthermoelement angebracht ist. Ein in der Gesamtansicht erkennbarer umlegbarer Doppelschirm erlaubt abwechselnd den einen oder den anderen der Streifen bestrahlen zu lassen, während der auf dem Ebonitpfropf angebrachte umstellbare Bügel *B* die Zuleitung des elektrischen Stromes zu dem unbestrahlten Streifen vermittelt. Der im Thermoelement entstehende Strom wird durch ein Spiegelgalvanometer geleitet. Man arbeitet nach der Nullmethode, reguliert den Strom mittels eines Schlittenrheostaten und liest seine Größe an einem Präzisionsmilliamperemeter ab. Sind

die Konstanten des Instrumentes bekannt, so ergibt sich aus der durch den elektrischen Strom zugeführten Energiemenge leicht die 1 cm^2 in der Minute durch Strahlung zufließende Wärmemenge. Die recht schwierige Bestimmung der Konstanten geschieht einheitlich im physikalischen Universitätsinstitut in Upsala. Es hat sich in den jüngsten Jahren gezeigt, daß die Ångströmsche Pyrheliometerskala um $3\frac{1}{3}$ bis $3\frac{1}{2}$ Proz. zu niedrig liegt. Abbot und seine Mitarbeiter haben am Smithsonian Institut in Washington unter Anwendung größter pekuniärer Mittel, aber auch nicht weniger großer Experimentierkunst, Gründlichkeit und Ausdauer zwei Standardtypen „waterflow“ und „waterstir“ konstruiert, welche das bezwiesen haben. Man rechnet jetzt, ohne infolge des Abbruches der internationalen Beziehungen es schon zum allgemeinen Beschluß erhoben zu haben, stillschweigend wohl ausschließlich nach der Smithsonianskala. Die Differenz von 3.5 Proz. wird dadurch erklärt, daß die Strahlung den Streifen nur von der Oberfläche aus erwärmt, während der kompensierende elektrische Strom sein ganzes Volumen gleichmäßig durchströmt und erwärmt.

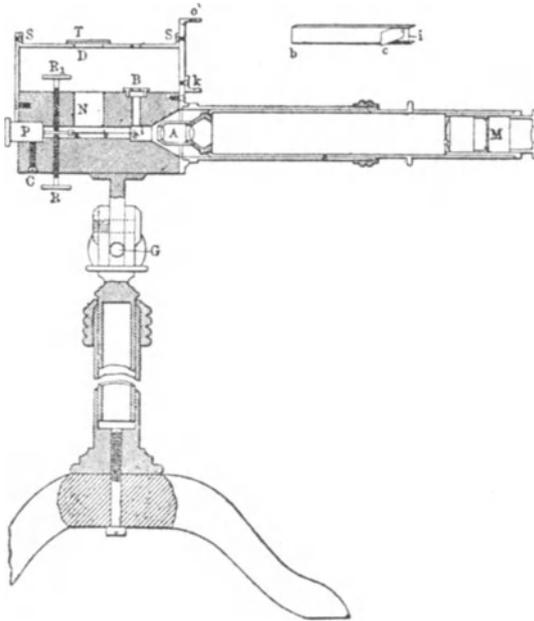
Aus diesem Instrumententyp, der absichtlich etwas ausführlicher besprochen wurde, ersieht man, daß richtige Strahlungsmessungen keineswegs ganz einfach sind. Mit dem stolz „Insolationsthermometer“ benannten, berußten Vakuumthermometer kann man nie ein absolutes Maß erhalten und das relative hängt in weitesten Grenzen von den Dimensionen des Instrumentes, der Güte des Vakuums, der Strahlung der Umgebung u. a. m. ab — der englische und der deutsche Typ machen unter Extremverhältnissen um 13^0 verschiedene Angaben. Auch das Arago-Davysche Aktinometer, welches die Differenz der Temperaturen zweier gleichgestalteter Vakuumthermometer, deren eines berußt ist, das andere eine silberne

Fig. 2.



Kugel führt, angibt, liefert keine zuverlässigen relativen Werte, auch mit ihm kommt nicht einmal der Jahresgang der Strahlung richtig zum Ausdruck; nach ihm fiel das Maximum in den Sommer statt in das Frühjahr. Nun gehört zur Behandlung des Ångströminstrumentes eine in physikalischen Arbeiten geübte Hand und, wenn es auch durch eine geeignete Dreifußaufstellung auf den Transport eingerichtet ist, so macht sein Gebrauch im Terrain doch Schwierigkeiten, denn man kann die begleitenden Meßinstrumente nicht ohne Gefahr und

Fig. 3.



Schaden der Sonne exponieren. So hat sich denn ein einfach zu handhabendes, freilich nur relative Werte lieferndes, aber recht exaktes Instrument, Michelsons Aktinometer, eingeführt; durch Eichung mittels eines Normalinstrumentes sind seine relativen Angaben auch leicht in absolutes Maß übergeführt. Fig. 3 zeigt dasselbe im Querschnitt. Es ist erhältlich bei Feinmechaniker Gustav Schelze, Potsdam. Es beruht darauf, daß sich unter der erwärmenden Wirkung der Sonnenstrahlen eine Miniatur-Bimetallmelle (Platin mit elektrolytisch

auf ihm niedergeschlagenen Kupfer) infolge der verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten beider Metalle verbiegt. Ein an der Lamelle mit Schellack befestigter Aluminiumzeiger trägt einen winzigen, 45° zur Mikroskopachse geneigten Beleuchtungsspiegel und als Marke einen Quarzfaden. Man hat nur unter dem Mikroskop die Verschiebung abzulesen, welche der Faden auf der Okularskala bei Bestrahlung bzw. im Schatten erfährt. Der umstellbare Doppelschirm T ermöglicht die abwechselnde Bestrahlung und Beschattung; Feineinstellung auf die Sonne mittels des Diopters O ist vorgesehen. Bei diesem wie bei allen Pyrheliometern steht alsdann die Auffangfläche senkrecht zur Strahlenrichtung; man mißt also die normal auffallende, nicht etwa die horizontal auffallende Strahlungsintensität. Ist durch Eichung mittels eines Standardinstrumentes festgelegt, wieviel Kalorien einem Skalenteile entsprechen, so gewinnt man mit diesem Instrument auch Absolutwerte. Nur schwere Stöße und falsche Handhabung der im Bilde mit R und R_1 bezeichneten, zur Einstellung des Fadens in das Gesichtsfeld des Mikroskops dienenden Schrauben sind zu vermeiden; sie würden den Eichfaktor ändern, möglicherweise auch die zarte Lamelle schädigen. Das wesentliche bei diesem Instrument ist, daß der Raum, in welchem die Lamelle schwebt, sehr klein ist gegenüber dem sie gegen äußere Strahlungswirkungen und Konvektionsströme schützenden Kupfermantel. Die Meßgenauigkeit beträgt etwa 2 Proz.; man kann bei dem neuen Typ des Instrumentes auch spektral ausgewertete farbige Gläser vorschalten und so die auf einzelne Spektralteile entfallenden Intensitäten einzeln messen.

Solche Pyrheliometermessungen der Intensität der Sonnenstrahlung beginnen nun schon einen recht erfreulichen Umfang anzunehmen. Von den bisherigen Resultaten sei erwähnt: Das Maximum der Gesamtenergie der Sonnenstrahlung fällt fast allgemein in das Frühjahr, nicht in den Sommer, und im Tagesgange (wenigstens in der Ebene) nicht in die Mittagszeit, sondern etwa eine Stunde vor und nach derselben. Der größere Wasserdampfgehalt der Atmosphäre um die Sommerzeit und zur Zeit des mittäglichen Auftriebes ist es hauptsächlich, welche die Strahlung bei den höheren Sonnenständen schwächt; einer Zunahme des Dampfdruckes um 1 mm entspricht in roher Annäherung eine Abnahme der Sonnenstrahlung um 0.02 Kalorien. Da der Wasserdampfgehalt der Luft

mit der Elevation über den Meeresspiegel noch schneller abnimmt als die Luftdichte, ist die mittlere Intensität auf den Bergen wesentlich höher als in der Ebene, und der Unterschied ist um so größer, je niedriger die Sonne steht. Auf Teneriffa wurde durch synchrone Messungen in 2200 bzw. 3600 m Meereshöhe bei 10° Sonnenhöhe etwa 34 Proz. bzw. 50 Proz. stärkere Strahlung gemessen als in 300 m Meereshöhe; bei 80° hochstehender Sonne betrug die Zunahme mit der Höhe nur etwa 11 bzw. 17 Proz. Zwischen Davos und der 300 m höheren Schatzalp beläuft sich die Strahlungsdifferenz je nach Sonnenhöhe auf 1 bis 3 Proz. Als maximale Intensitäten verschiedener Orte wären zu nennen:

Washington und Potsdam (beide nur in sehr geringer Elevation über den Meeresspiegel)	1.44
Davos in 1600 m Höhe	1.58
Pik von Teneriffa und Mt. Whitney in 3700 bzw. 4400 m Höhe	1.64

Im Freiballon in 7500 m Höhe ist 1.67 gemessen, und eine wohl nicht ganz einwandfreie Registriermessung mittels eines Pilotballons hat aus 22 km Höhe 1.84 gemeldet.

Die Unterschiede der maximalen Werte zwischen Ebene und Höhe (Potsdam und Davos) sind nicht gar groß (1.44 gegen 1.58); anders stellt es sich mit den Strahlungssummen.

Tabelle 3.

Ort	Geogr. Breitengrade	Summen für die normale Flächeneinheit			Summen für die horizontale Flächeneinheit		
		möglich	wirklich	Proz.	möglich	wirklich	Proz.
Treurenberg	79.9	252 300	53 610	21	75 770	16 820	22
Stockholm	59.3	251 860	108 870	43	107 269	55 620	52
Potsdam	52.4	230 590	98 510	43	112 070	53 890	48
Warschau	52.2	216 200	86 350	40	106 800	50 920	48
Kiew	50.4	—	—	—	123 500	—	—
Wien	48	188 450	—	—	99 210	52 330	53
Montpellier	43.6	—	—	—	145 000	71 820	50
Davos	46.8	255 060	137 504	54	142 000	78 110	55

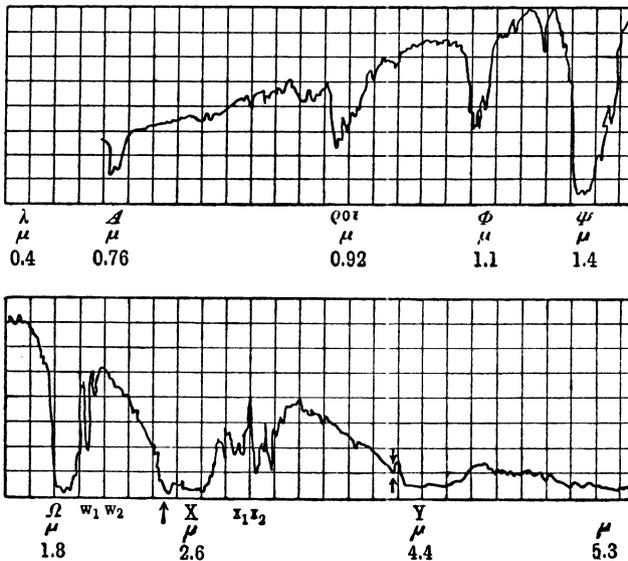
Tabelle 3 gibt einen kleinen Überblick: Davos empfängt volle 50 Proz. mehr Wärmestrahlung im Jahre als Potsdam (78 000 gegen 53 000, bezogen auf die horizontale Fläche) bei 55 Proz. der möglichen Sonnenscheindauer (laut letzter Rubrik).

Diese Zahlen wären viel höher, schirmten nicht in Davos die einschließenden Berge die Sonne im Mittel drei Stunden täglich ab. Außer der intensiveren Strahlung und größeren Strahlungssumme hat das Hochgebirge vor der Ebene noch den großen Vorzug der günstigeren Verteilung der Strahlung über das Jahr. So weist die Wärmemenge der Wintermonate in Davos den dreifachen Wert der Potsdamer auf, während die Wärmesumme des Hochsommers nur ganz wenig größer ist; die Bestrahlung des horizontalen Bodens ist im Juni in Potsdam 20mal, in Davos kaum 6mal so groß als im Dezember — das Strahlungsklima des Hochgebirges ist weit gleichmäßiger. Es ist für Davos von den gesammelten Zahlen Gebrauch gemacht zur Berechnung der Kalorienzahl, welche die nach den vier Himmelsrichtungen orientierten Vertikalflächen im Tages- und Jahresgang zugestrahlt erhalten. Es ergibt sich u. a. das nicht uninteressante Resultat, daß die Südfront eines Hauses im Winter 6mal so warm ist als die Ostfront, im Sommer dagegen kühler, nämlich nur $\frac{3}{4}$ so warm — die Ursache liegt hauptsächlich in den verschiedenen Einfallswinkeln der Strahlen. Alle diese Berechnungen beruhen auf Kombination der gemessenen Sonnenintensität mit der Sonnenscheindauer, wie sie der Sonnenscheinautograph zeichnet. Am verbreitetsten ist der bekannte Campbell-Stokessche Glaskugelheliograph. Er besitzt Mängel — das ist nicht zu leugnen — und seine Verbesserung und Ersatz, wenigstens an Stationen erster Ordnung, durch den von J. Maurer vortrefflich durchkonstruierten Sonnenscheinchronographen wäre recht wünschenswert, er hat aber den Vorzug der Einfachheit, und die Mängel sind auch zu einem großen Teile aufzuheben durch genaue Auswertung seiner und des verwandten Papiers Empfindlichkeit nach Kalorien, und vor allem durch einheitliche, der Erfahrung bei wechselnder Bestrahlung Rechnung tragende Auswertung der Brennsuren, und das geschieht natürlich sorgsam an den Observatorien, welche sich mit Intensitätsmessungen beschäftigen.

Wie schon erwähnt, wirkt insbesondere der Wasserdampfgehalt der Luft schwächend auf die Strahlung neben ihrem Staubgehalt; beides hängt von lokalen Verhältnissen ab, und es geht daher nicht ohne Einzelbeobachtungen ab; Ableitungen aus dem von Abbot und seinen Mitarbeitern hauptsächlich auf dem Mt. Wilson in Kalifornien in 1730 m Meereshöhe

und in Washington gesammelten Material, so prachtvoll es auch ist, haben nur bedingten Wert als Übersicht über die mittleren Verhältnisse der Erde. Ganz kurz müssen wir auch dieser unerreichten Leistungen gedenken, welche zum Hauptzweck die Verfolgung der Solarkonstante, d. h. der Schwankungen der Intensität der extraterrestrischen Sonnenstrahlung haben. Ausführlich ist auf sie wie auf alle hier nur gestreiften Probleme in der „Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung“ eingegangen, welche im Bd. 63 „Die Wissenschaft“

Fig. 4.



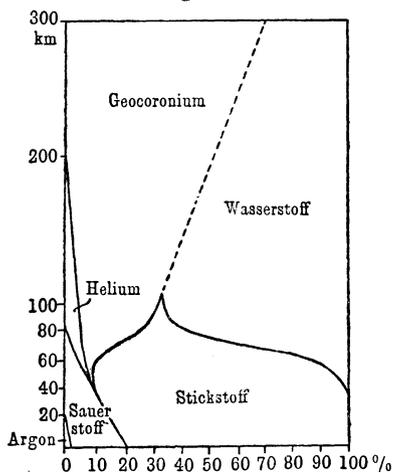
kürzlich erschienen ist. Abbot ist es mit seiner wunderbaren Apparatur möglich, das ganze Sonnenspektrum vom äußersten Ultrarot bis ins Ultraviolett hinein innerhalb 11 Minuten, ja nach einem jüngst eingeführten abgekürzten Verfahren sogar innerhalb 7 Minuten photographisch registrierend aufzunehmen. Die Details der Aufnahme sind so fein, daß beispielsweise im sichtbaren Spektrum die zwischen den beiden D -Linien des Natriums stehende zarte Ni -Linie noch zum Ausdruck kommt. Die Originalkurve eines Teiles des ultraroten Spektrums mit den Absorptionsbanden des Wasserdampfes $\rho\sigma\tau\phi\psi\Omega$ zeigt die Fig. 4. Das Verfahren gestattet, im Verein mit be-

gleitenden Pyrheliometermessungen die Energie eines jeden beliebigen Spektralteiles zu bestimmen, und wenn man mehrere solcher am gleichen Tage bei verschiedenen Sonnenhöhen, aber unverändertem Allgemeinzustand der Atmosphäre aufgenommenen Kurven zur Verfügung hat, aus ihnen den extraterrestrischen Wert jeder Spektrallinie und des Gesamtspektrums, d. h. die Solarkonstante, festzulegen sowie den Transmissionskoeffizienten jeder Spektrallinie, d. h. das Verhältnis der durchfallenden zur einfallenden Intensität bei Zenitstand der Sonne, also bei Durchstrahlung der Erdatmosphäre in senkrechter Richtung. Mittels dieses Transmissionskoeffizienten kann man

aus der bekannten Extinktionsformel die Intensität für jede beliebige Sonnenhöhe, also jede beliebige Tageszeit berechnen. Aus der variierenden Tiefe der Absorptionsbanden des Wasserdampfes hat Fowle nach Laboratoriumsversuchen größten Stiles (mit Hilfe von 128 und 246 m langen, mit Wasserdampf verschiedener Dichte und Temperatur gefüllten Röhren) ein Verfahren zur Bestimmung des absoluten Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre bis zu ihren höchsten Höhen abzuleiten vermocht, und die Größe der Absorption des

Wasserdampfes für jede einzelne Spektrallinie bestimmt und auch seine zerstreuende Wirkung nachgewiesen und nach ihrem Anteil an der Gesamtschwächung der Strahlung festgelegt. Die gesamte Erdatmosphäre wirkt nämlich auf die sie durchdringenden Strahlen in zweifacher, grundsätzlich verschiedener Weise, nämlich 1. durch selektive Absorption und 2. durch Extinktion. Die Fig. 5 zeigt die Zusammensetzung der Atmosphäre bis zu ihren höchsten Höhen: Nur bis zu etwa 11 km reicht die oben schon ausführlich betrachtete Troposphäre und mit ihr die Wolkengrenze; der Troposphäre aufgelagert, von ihr durch die schon erwähnte obere Inversionsschicht getrennt, ist in

Fig. 5.



Zusammensetzung der Atmosphäre.

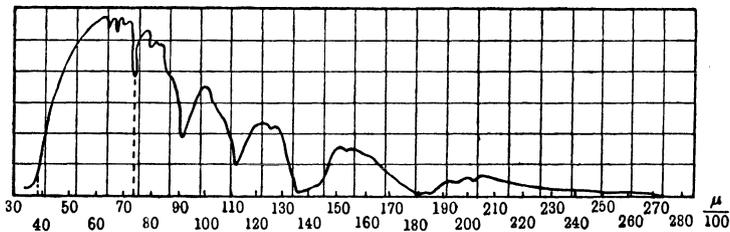
der Stratosphäre bis zu 75 km Höhe der Stickstoff weitaus vorherrschend. Oberhalb desselben findet man bis zu 180 km Höhe vorwiegend Wasserstoff, und neben diesem, mit wachsender Höhe zunehmend, ein dem Koroniumgase der Sonne wohl identisches, sehr leichtes, daher zur Erdoberfläche nicht vordringendes Gas, das Geokoronium, welches noch in 500 km Höhe vorkommen muß. Die Beweise für die Existenz dieser Schichten zu erörtern, führt hier zu weit. Durchsetzen nun die Strahlen diese mannigfachen Gase, so werden sie — wie gesagt — teils absorbiert und ihre Energie wandelt sich dadurch in chemische oder thermische Energie, teils diffus zerstreut, die Strahlungsenergie bleibt als solche erhalten, die Strahlen werden nur aus ihrer geradlinigen Richtung abgelenkt und erreichen als diffuse Himmelsstrahlung auf Umwegen die Erde, von geringen Verlusten gegen den Weltraum abgesehen. Hier gilt das bekannte, auf trübe Medien bezügliche Rayleighsche Gesetz: „Treffen Strahlen auf Teilchen, welche gegenüber ihrer Wellenlänge klein sind, so werden sie von denselben umgekehrt proportional der vierten Potenz ihrer Wellenlänge zerstreut.“ Dies hat zur Folge, daß in der durch die Erdatmosphäre durchfallenden Sonnenstrahlung der Anteil der kurzwelligen Strahlen sehr schnell abnimmt, und die langwelligen um so mehr vorherrschen, je weiter die Strahlung in der Atmosphäre vordringt und je dickere Atmosphärenschichten sie durchsetzt, und andererseits, daß in dem durch die Atmosphäre zerstreuten Licht die kurzwelligen Strahlen um so mehr vorherrschen, je häufiger eine Zerstreung stattgefunden hat, denn nicht nur die direkten Sonnenstrahlen, sondern auch die zerstreuten werden immer wieder von neuem an den Luftteilchen, auf welche sie fallen, zerstreut. Die Zunahme der kurzwelligen Strahlung durch diese molekulare Zerstreung ist die Ursache der blauen Farbe des wolkenlosen Himmels und die Hauptursache der Farbenverteilung am Himmel, welcher stets annähernd an dem in 90° Sonnen-
distanz im Sonnenvertikal liegenden Punkt am tiefsten blau erscheint. Zerstreuend wirken in erster Linie die Luftmoleküle, aber auch zu einem nicht ganz unbedeutenden Anteil der Wasserdampf. Absorbierend wirken außer dem Wasserdampf, dessen Hauptabsorptionsbanden die Fig. 4 zeigt, die Kohlensäure und das Ozon. Alle drei tragen zur Schwächung des ultraroten Spektrums bei. Der jähe Abfall im Ultraviolett

bei etwa $290 \mu\mu$, schwankend mit Sonnenhöhe und Jahreszeit, wird verursacht durch schon in sehr hohen Atmosphärenschichten vor sich gehende chemische Umsetzungen des Sauerstoffs, Stickstoffs und Wasserstoffs zu Ozon, Wasserstoffsuperoxyd und Stickoxyden, sowie durch die Absorptionsbanden des Ozons im Ultraviolett.

Die Ausdehnung und die Gestalt, d. h. die Energieverteilung des Normalspektrums bei mittlerer Sonnenhöhe, zeigt Fig. 6.

Viel gedehnter ist der ultrarote Spektralteil als der der Helligkeit oder gar der des Ultravioletts. Einer Oktave (in sinngemäßer Übertragung des bekannten akustischen Begriffs der doppelten Schwingungszahl) des sichtbaren Spektrums stehen — in der Figur nicht voll erkenntlich — vier und wohl

Fig. 6.



Normalspektrum.

mehr Oktaven des Ultrarots und nur eine halbe Oktave des Ultravioletts gegenüber; 60 Proz. der Gesamtenergie entfällt auf das Ultrarot, 40 Proz. auf das sichtbare Spektrum, aber kaum 1 Proz. auf das Ultraviolett; ganz jäh fällt das Spektrum auf der kurzwelligen Seite ab, ganz langgedehnt ist es auf der langwelligen. Das Maximum liegt im Gelborange und wandert mit steigender Sonne nach dem Gelb zu, mit sinkender nach dem Rot.

Bei Anwendung der von Abbot in 4400 und 1700 m Höhe und im Meeresniveau gesammelten Zahlen auf die Verhältnisse der ganzen Erde ergibt sich: Von der gesamten Energiemenge, welche die Sonne der Erde zustrahlt, gelangen nur 75 Proz. bis zu 1800 m Höhe und nur 50 Proz. bis zum Meeresniveau, und unter Berücksichtigung der Bewölkung sogar nur 52 bzw. 24 Proz. Im Mittel erhält also durch direkte

Sonnenstrahlung das Meeresniveau nicht die Hälfte derjenigen Strahlungsenergie, welche zu 1800 m Höhe gelangt.

Wir haben bisher nur der Wärmestrahlung der Sonne unsere Aufmerksamkeit geschenkt. Daß die Wärmestrahlung des wolkenlosen Himmels, soweit sie von zerstreuten Sonnenstrahlen her stammt, nicht groß sein kann, können wir von vornherein aus Rayleighs Gesetz schließen, nach welchem ja die langwelligen Strahlen viel weniger als die kurzwelligen zerstreut werden, und die blaue, also der wärmespendenden gelben und roten Strahlen entbehrende Farbe des Himmels sagt es uns auch. Doch hier kommen andere Momente hinzu: Der Himmel oder — was dasselbe ist — die atmosphärische Luft, im vorliegenden Falle gesammelt gedacht in einer Höhe, welche ihrer Strahlungstemperatur entspricht, wird nur zu einem kleinen Teile durch direkte Sonnenstrahlung erwärmt, zum viel größeren Teile durch die von der Erdoberfläche ausgehende Wärmestrahlung, welche freilich — wie wir schon erörtert haben — ihre Wärmeenergie zum weitaus größten Teile von der Sonne erhält. Der Vorgang ist folgender: Die gesamten Sonnenstrahlen fallen, namentlich bei wolkenlosem Himmel nur in geringem Maße durch Absorption in der Atmosphäre geschwächt, auf die Erdoberfläche; von ihr werden sie im allgemeinen ohne Unterschied unter Wärmezeugung absorbiert und somit werden alle, auch die Lichtstrahlen, in langwellige Wärmestrahlung von mindestens 2μ , hauptsächlich 9 bis 10μ Wellenlänge transformiert. Diese gibt die Erde durch Ausstrahlung gegen den Weltenraum wieder ab, doch nur zu einem Teil, denn für diese langwellige Strahlung ist die Erdatmosphäre sehr undurchlässig, sie wird insbesondere durch Wasserdampf und Kohlensäure verschluckt. Der Vorgang ist durchaus vergleichbar dem eines Treibhauses: Durch seine Glasfenster dringt der helle Sonnenschein fast ungehindert und erwärmt das Innere infolge Absorption der Strahlen durch die Wände, die Erde und die Pflanzen; die rückstrahlende Wärme kann aber nicht wieder heraus aus dem Hause, denn das Glas ist — ebenso wie die atmosphärische Luft — sehr undurchlässig für langwellige Wärmestrahlen. Wie ein Wärmemantel schützt die Atmosphäre die Erdoberfläche vor zu großer Abkühlung durch Ausstrahlung gegen den Weltenraum; wäre dieser Wärmemantel nicht vorhanden, so hätten wir im Winter unter dem 50. Breitenkreise eine

Minimaltemperatur von -40°C , unter dem 60. eine solche von -73°C . Die genaue Bestimmung dieser Strahlungsgrößen bietet heute keine Schwierigkeiten mehr, nachdem K. Ångström ein dem ausführlich besprochenen Kompensationspyrheliometer verwandtes Instrument für diese Zwecke geschaffen hat. Es liefert freilich nicht unmittelbar die gesuchte Größe, sondern man mißt mit ihm, und zwar an einer horizontal gerichteten Fläche, die „effektive Strahlung“, d. h. die Ausstrahlung gegen den Weltenraum abzüglich der Gegenstrahlung des Wärmemantels, d. h. der Atmosphäre. Da aber die Ausstrahlung gegen den die Temperatur des absoluten Nullpunktes besitzenden Weltenraum aus Stefans Gesetz leicht zu errechnen ist, wofern man nur die Temperatur der das Meßinstrument einhüllenden Luft festgestellt hat, so ergibt sich die „Gegenstrahlung“ der Atmosphäre, wie man sie benannt hat, leicht. Ihre Größe hängt, außer von der Temperatur, besonders von dem Wasserdampfgehalt der Atmosphäre ab, und sie ist daher in der von weniger dickem Mantel geschützten Bergeshöhe geringer als in der Ebene. Als rohen Anhalt kann man nehmen: In der Ebene wird $\frac{2}{3}$, in der Höhe nur etwa $\frac{1}{2}$ derjenigen Wärmemenge, welche bei Atmosphärenabwesenheit zum Weltenraume ausstrahlen würde, von der Atmosphäre zurückgehalten. Stets also geht — soweit nur dieser von der Erdstrahlung unterhaltene Wärmemantel in Betracht kommt, also des Nachts — ein Wärmestrom in der Richtung von der Erde zum Himmel, nie umgekehrt. Alles bisher Gesagte bezieht sich auf wolkenlosen Himmel; Wolken schützen ungleich mehr, und zwar im allgemeinen um so mehr, je niedriger sie sind; bei Anwesenheit einer Str=Cu=Decke strahlt die Erde nur etwa $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{10}$ so viel aus, wie bei klarem Himmel. Gegen die infolge lebhafter Ausstrahlung in klaren Frühjahrs- und Herbstnächten eintretende Frostgefahr schützt man sich daher durch eine künstliche Wolkendecke, durch Raucherzeugung. Des Nachts, zu welcher Zeit nur der von der Erdstrahlung unterhaltene Wärmemantel existiert, hat — wie erwähnt — die Bestimmung der Wärmestrahlung der Atmosphäre keine Schwierigkeiten; anders am Tage, wenn zu der langwelligen Wärmestrahlung des Himmels noch die aus den direkten Sonnenstrahlen zerstreuten kurzwelligen Wärmestrahlen hinzukommen. Man hat diese gesondert zu messen gesucht, indem man die langwelligen vermittelst für sie undurchlässigen Glases

abschirmte. Ångströms Instrument versagt dann aber infolge der selektiven Absorption des blanken Platins für Strahlen des sichtbaren Spektrums, und man hat andere Instrumente zu konstruieren gesucht, welche auf Widerstandsänderungen in geschlossenen elektrischen Stromkreisen beruhen. Abbots Pyranometer ist wohl freilich noch nicht ganz fehlerfrei, und nicht anders liegt es mit dem am Hauptobservatorium der Vereinigten Staaten auf dem Mt. Weather aufgestellten Callendarregistrator, welcher die Wärmestrahlung von Sonne + Himmel registriert. So viel Mühe und Zeit auch Kimball auf dies Instrument verwandt hat, es hält einer strengen Prüfung nicht stand, aber die sehr vielen Fehlerquellen mögen sich ja in einer für die Praxis genügenden Weise im allgemeinen aufheben. Seinen Angaben legt man in den Vereinigten Staaten Wert bei und ebenso in England, wo am Kew-Observatorium ein solches Instrument in Dienst gestellt worden ist. Vor kurzem erschien in der *Monthly Weather Review* (1919, November, p. 795—797) die Beschreibung eines von Ångström jun. neukonstruierten Instrumentes, welches die Wärmestrahlung des Himmels auch während des Tages zu messen erlaubt und aussichtsreich erscheint. Zusammengefaßt dürfte das Urteil über die bisherigen Wärmestrahlungsmessungen des Himmels am Tage wohl folgendermaßen lauten müssen: Bei klarem Himmel geht (nach den gesichertsten, in Schweden und Finnland angestellten Messungen) in höheren Breiten auch am Tage ein Wärmestrom von der Erde zum Himmel, d. h. die aus den direkten Sonnenstrahlen zerstreuten Wärmestrahlen zuzüglich der Gegenstrahlung der Atmosphäre können die Ausstrahlung der Erdoberfläche gegen den Weltenraum nicht ganz aufheben; möglich, ja wahrscheinlich ist es, daß mit Annäherung an den Äquator die Zerstreuung der direkten Strahlen so zunimmt, daß der ausgehende in einen eingehenden Wärmestrom verwandelt wird; qualitativ ist das noch nicht ganz gesichert, die quantitativen Zahlen, die bisher angegeben werden, schweben in der Luft; Wolken modifizieren die Verhältnisse natürlich in demselben Sinne, wie wir es bei den Messungen während der Nacht festgestellt haben, sie halten sowohl die Einstrahlung wie auch die Ausstrahlung ganz wesentlich auf. Von einer genauen dauernden Verfolgung des Wärmeumsatzes durch Strahlung zwischen Sonne, Himmel und Erde mittels genauer Registrier-

instrumente, welche hierzu nötig wären, sind wir noch weit entfernt.

Will der Arzt nun diese physikalischen Größen über die Ausstrahlung verwenden, so muß er sie — wie es schon bei dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft geschah — auf die Körpertemperatur des Menschen beziehen, bei welcher die Ausstrahlung des schwarzen Körpers zu dem Weltenraum, falls keine Atmosphäre existierte, $0.710 \text{ g cal/min cm}^2$ beträgt. Von dieser Größe sind die jeweiligen Beträge der Gegenstrahlung der Atmosphäre zu kürzen, um die Wärmemenge zu erhalten, welche der Mensch durch Ausstrahlung abgibt (unter der Annahme, daß er wie ein schwarzer Körper ausstrahlt). So kommt man beispielsweise auf Grund von Mittelwerten aus 27 klaren Davoser Winternächten zu dem Resultat: 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. Die physiologische und therapeutische Bedeutung der Ausstrahlung ist hiernach nicht zu unterschätzen; nur im Freien ist der Patient diesem Reiz voll ausgesetzt, auf der Liegehalle nur zu einem kleinen Teil.

Nächst den Wärmebestimmungen wird den Helligkeitsmessungen stets ein besonderer Wert beizulegen sein, denn — um ein Beispiel der Anwendung in der Praxis zu nennen — wichtiger noch als die Bestimmung der Lichtverteilung innerhalb von Schul- und Fabrikräumen ist doch wohl die der durch die Fenster eintretenden Lichtintensität und ihrer Schwankungen. Zu diesen Messungen wird man trotz ihrer Subjektivität die photometrische Methode bevorzugen, eben wegen der physiologischen Wirkung dieser Strahlengattung auf des Menschen kostbarstes Organ und durch dasselbe auf sein Seelenleben. Aus ähnlichen Gründen eignet sich unter den zahlreichen guten photometrischen Meßmethoden vornehmlich die Webersche, weil sie auf Sehschärfe abstellt und damit den praktischen Bedürfnissen des täglichen Lebens am meisten entgegenkommt. Nach ihr mißt man in Grün und Rot und hat, um den Äquivalenzwert der Helligkeit zu finden, den Quotienten Grün/Rot nur mit dem ihm entsprechenden, aus einer Tabelle zu entnehmenden Faktor k zu multiplizieren, welchen Weber, fußend auf dem Gesetz, daß das Verhältnis

zweier Lichtstärken eine Funktion des Verhältnisses der Lichtstärken zweier Spektralbezirke ist, für jeden möglichen Quotienten Grün/Rot experimentell ein für alle Male für sein Instrument festgelegt hat. Bei Anwendung dieser Methode erhält man also gleichzeitig die Intensität der Gesamthelligkeit und des grünen und roten Spektralteiles. Die best definierte und best untersuchte photometrische Einheit bietet die Hefnerkerze, wenn das Arbeiten mit ihr auch Aufmerksamkeit und Geduld erfordert. Es interessiert für klimatische Zwecke neben der Helligkeitsverteilung über den Himmel vornehmlich die sogenannte „Orthelligkeit“, d. h. die Beleuchtungsstärke der horizontalen Fläche durch Sonne + Himmel, sowie durch die Einzelkomponenten, Sonne und Himmel, und das sogenannte „Vorderlicht“, d. h. die Beleuchtungsstärke der Vertikalfläche, und zwar je nach den vier Kardinalrichtungen das südliche, westliche, nördliche, östliche Vorderlicht, wobei man aber nicht die geographischen Richtungen meint, sondern die zu den Sonnenstrahlen senkrecht stehende als Süden, und die übrigen dann sinngemäß annimmt. Das Mittel dieser vier Größen, also gewissermaßen die Beleuchtungsstärke einer um eine Vertikalachse rotierenden Fläche, ist das mittlere Vorderlicht. Auf die Resultate soll erst eingegangen werden, nachdem die die photometrische Methode ergänzende photoelektrische Meßmethode kurz besprochen ist, welche dem kurzwelligen Teil des sichtbaren Spektrums und dem ultravioletten Spektrum gilt. 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 Strahlungsintensität und ausgelöstem Photostrom besteht. Am lichtempfindlichsten sind die Alkalimetalle 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} Ampère 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. Bis zur Größenordnung 10^{-12} , also bis zu einem Billionteil eines Ampère kann man bei genügenden Sicherheitsmaßregeln galvanometrisch messen. Bei sehr kleinen Intensitäten bis zu 10^{-14} Ampère muß man zur sogenannten Auflademethode greifen — die Erörterung führt zu weit. Die ganze photoelektrische Meßmethode ist eine der prachtvollsten der neuen Errungenschaften der Physik, sie eröffnet insbesondere der Astronomie die weitesten Perspektiven, erfordert freilich ein recht peinliches und aufmerksames Arbeiten, vor allem richtige, den zu messenden Intensitäten angepaßte Auswahl der Zellen und Vermeiden einer zu großen Belastung derselben. Die Schwierigkeiten erhöhen sich bei Anwendung der Methode in der optischen Meteorologie und Klimatologie dadurch, daß man mit den die Strahlung aufnehmenden Teilen ins Freie zu gehen gezwungen ist. Die empfindlichen, gänzliche Erschütterungsfreiheit und Schutz gegen fremde elektrische Kräfte erfordern den Galvanometer behalten natürlich ihren sehr sorgsam gesicherten Platz im Innern des Hauses, die Sicherung der Zuleitungen zu den teils dem Sonnenlaufe folgenden, teils auf jeden beliebigen Himmelspunkt einzustellenden, die Zelle enthaltenden Instrumenten, und die geeignete Aufstellung dieser gänzlich frei gegen die Himmelshalbkugel und doch geschützt gegen äußere Gefahren — das erfordert Mühe und Erfahrung. Für Messungen im Blauviolett dient am besten die Kaliumzelle, welche ihr Empfindlichkeitsmaximum etwa bei $405 \mu\mu$ hat; um den Spektralteil noch schärfer zu definieren, wendet man sie zweckmäßig nur in Verbindung mit einem spektral ausgewerteten Filter aus Blauviolglas an; andere Filter und andere Alkalizellen erschließen andere Spektralbezirke. Die Erdalkalizellen, insbesondere die Cadmiumzelle, sprechen allein auf Ultraviolett an, letztere nur auf Ultraviolett unterhalb $366 \mu\mu$, und ermöglichen dadurch in diesem, in biologischer Hinsicht ganz besonders wichtigen Spektralteil Messungen einer Genauigkeit, wie sie bis vor kurzem ganz undenkbar waren.

Nun zu den Resultaten: Vergleichszahlen zwischen Orten, an welchen nach exakten und übereinstimmenden Methoden beobachtet worden ist, sind leider nur spärlich. Die vom

Potsdamer Institut in Kolberg in den Jahren 1913 und 1914 durchgeführten Beobachtungen sind noch nicht veröffentlicht; da daselbst nach gleichen Methoden wie in Davos beobachtet worden ist, wird sich sicherlich ein fruchtbarer, einheitlicher Vergleich zwischen See- und Hochgebirgsverhältnissen ergeben, welcher die Bestrebungen, dem Lichtklima als solchem mehr Beachtung zu verschaffen und es systematisch auf der ganzen Erde zu studieren, fördern dürfte. Strenge Vergleichszahlen sind nur von wenigen Orten zu nennen. Zunächst ein Vergleich der mittäglichen Ortshelligkeit von Kiel und Davos. 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.

Die Amplitude beläuft sich

im Monatsmittel	in Davos auf	3.0,	in Kiel auf	7.9
„ Monatsmaximum . . .	„	„	„	10.9
„ Monatsminimum . . .	„	„	„	13.6
„ absoluten Maximum				
und Minimum	„	„	„	219.0

die extremen Schwankungen sind also in Kiel etwa 7 mal so groß als in Davos.

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 oder nur zart verschleierter Sonne helligkeitsvermehrend, besonders bei niedrigem Sonnenstande und mittlerem Bewölkungsgrade. Maximal ist die Lichtvermehrung in Davos mit 40 Proz. gefunden. Ein Vergleich zwischen Washington und Davos ist unvollkommen sowohl wegen der nicht ganz übereinstimmenden Meßmethoden als auch wegen des nur recht spärlichen Materials aus Washington; nichts aber scheint dem, was soeben gemeldet ist, zu widersprechen.

Ferner ein Vergleich der blauviolettten Strahlung zwischen Davos und Neubrandenburg, etwa auf der Grenze von Mecklen-

burg und Brandenburg gelegen, gemessen in der dortigen forstwissenschaftlichen Akademie: Die Bestrahlung der horizontalen Fläche durch diese besonders aktinisch wirksamen Strahlen ist

in Davos im tiefsten Winter	. 3.0 mal so groß als in Neubrandenburg
" " " höchsten Sommer	1.1 " " " " " "
" " " Jahresmittel . . .	1.6 " " " " " "

Das absolute Maximum wurde in Davos 1.4 mal so hoch gefunden, das absolute Minimum 5 mal so hoch als in Neubrandenburg. Alle diese Vergleichszahlen liegen wesentlich niedriger als die zwischen Davos und Kiel. Dies liegt wohl sicherlich nur zu einem kleinen Teile daran, daß das Kieler Lichtklima ungünstiger ist als das Neubrandenburger, die Hauptursache wird (wie aus dem Verhältnis der beiden Spektralteile an ein und demselben Orte, nämlich Davos, zu schließen ist) darin zu suchen sein, daß die Gesamtstrahlung (wohlverstanden nur diese, nicht etwa die Einzelkomponenten Sonne und Himmel) mit abnehmender Wellenlänge des Lichtes gleichmäßiger wird. So vermehrt beispielsweise auch Bewölkung keineswegs die aktinischen Strahlen in gleichem Maße wie die Helligkeit.

Die rein ultraviolette Strahlung ist mit einheitlichem Maße bisher nicht gemessen, weil es ein solches noch nicht in genügender Zuverlässigkeit gibt. Daher sind Vergleiche nur möglich, wenn das gebrauchte Instrumentarium untereinander genau abgestimmt ist. Soweit Vergleiche angängig sind, würde sich die Intensitätsgröße an den nachbenannten Orten der Reihe nach folgendermaßen ordnen: Luxor, Ceylon, Indischer Ozean, Wien, Delhi, doch stammen diese Maximalwerte aus gar verschiedenen Monaten, nicht aus einem vollen Jahresturnus, und sind daher nicht entscheidend. Zwischen Ebene und Höhe fanden Elster und Geitel die Verhältniszahlen: Wolfenbüttel (80 m); Kolm Saigurn (1600 m); Sonnblick (3100 m) = 40 : 61 : 90 bei gleicher Sonnenhöhe. Die ultraviolette Strahlung wächst mit Aufstieg in die Höhe nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ, d. h. nach der Ausdehnung im ultravioletten Spektrum. Aus in Frankreich und der Schweiz angestellten Beobachtungen schließt Cornu, daß eine Zunahme von $1 \mu\mu$ einem Aufstieg um 868 m entspricht, doch kommt dieser Regel schwerlich Allgemeingültigkeit zu, schon allein deshalb nicht, weil — wie der Verfasser nachgewiesen — die Ausdehnung des ultravioletten Spektrums mit der Jahreszeit nicht

Tabelle 4.
 Tagesgang (von Stunde zu Stunde wahre Sonnenzeit) der mittleren Wärmeintensitäten an den
 12 Monatsmitteln in Grammkalorien pro min cm². Normalwerte.

Datum	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	Mg.	1P	2P	3P	4P	5P	6P
15. Dezember	—	—	—	—	1.118	1.250	1.354	1.309	1.223	1.006	—	—	—
15. Januar	—	—	—	—	1.293	1.394	1.381	1.359	1.276	1.061	—	—	—
15. Februar	—	—	—	1.270	1.406	1.461	1.457	1.416	1.355	1.226	—	—	—
15. März	—	—	1.023	1.374	1.436	1.475	1.487	1.459	1.408	1.331	1.216	—	—
15. April	—	1.105	1.332	1.446	1.472	1.490	1.495	1.516	1.468	1.390	1.292	1.164	—
15. Mai	1.125	1.185	1.317	1.374	1.439	1.492	1.468	1.444	1.399	1.364	1.314	1.178	—
15. Juni	1.128	1.242	1.343	1.385	1.410	1.436	1.447	1.439	1.366	1.356	1.226	1.110	1.054
15. Juli	1.247	1.258	1.304	1.333	1.354	1.386	1.385	1.377	1.387	1.246	1.203	1.113	—
15. August	1.078	1.211	1.350	1.397	1.436	1.439	1.473	1.428	1.397	1.331	1.267	1.101	—
15. September	—	1.082	1.259	1.377	1.423	1.463	1.453	1.437	1.410	1.335	1.215	—	—
15. Oktober	—	—	1.149	1.289	1.385	1.418	1.447	1.384	1.354	1.239	—	—	—
15. November	—	—	—	—	1.274	1.338	1.376	1.319	1.234	1.116	—	—	—
Dezember/Februar	—	—	—	1.270	1.272	1.368	1.397	1.362	1.384	1.098	—	—	—
März/Mai	1.125	1.146	1.223	1.398	1.449	1.486	1.483	1.472	1.425	1.362	1.274	1.171	—
Juni/August	1.150	1.237	1.332	1.371	1.400	1.420	1.423	1.415	1.384	1.311	1.233	1.107	1.054
September/November	—	1.082	1.204	1.333	1.361	1.407	1.425	1.380	1.332	1.230	1.215	—	—
Jahr	1.145	1.181	1.260	1.361	1.370	1.420	1.432	1.408	1.357	1.250	1.248	1.132	1.054

Tabelle 5.

Tages-, Monats-, Jahres-Wärmesummen in Grammkalorien pro cm²

- 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. Gramm-													
kalorien pro cm ² senk-													
rechter Bestrahlung .	12 090	12 772	14 672	20 057	25 080	29 543	29 010	29 140	27 683	23 070	18 414	13 530	255 061
Mittlere Tagessumme .	390	412	524	647	836	953	967	940	893	769	594	451	8 376
Monatssumme i. Gramm-													
kalorien pro cm ² hori-													
zontaler Fläche (bei													
klarer Sonne)	3 503	4 123	6 300	10 757	15 540	19 220	19 740	19 344	17 329	12 840	8 556	4 740	141 992
Mittlere Tagessumme .	113	133	225	347	518	620	658	624	559	428	276	158	4 659
Proz. 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	1 875	2 297	3 254	6 048	7 227	9 588	10 212	10 825	11 021	7 818	5 131	2 817	78 113
Mittlere Tagessumme .	61	74	116	195	241	309	340	349	356	261	166	94	2 562
Proz. 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
Proz. 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

unbedeutend schwankt. Auch im Ultraviolett ist die Strahlung in der Höhe gleichmäßiger über Jahr und Tag verteilt als in der Ebene, wie Rosselet durch Vergleichsmessungen zwischen Leysin und Lausanne festgestellt hat.

Wir wären am Ende der möglichen Vergleiche zwischen verschiedenen Orten, soweit exakte Messungen vorliegen, denn die mit photographischen Papieren gewonnenen, auf welche weiter unten eingegangen werden wird, erfüllen diese Bedingung nicht. An Hand einiger von den vielen über das Davoser Lichtklima zusammengetragenen Tabellen¹⁾ möge nun in Umrissen gezeigt werden, wie eine Analyse des Lichtklimas eines Ortes wohl zweckmäßig aussähe.

Tabelle 4 zeigt die Wärmeintensität der Sonne für jede beliebige Tagesstunde für jede Monatsmitte, durch Interpolation also auch genügend genau für jeden Tag. Das Maß ist das der kleinen Kalorie pro Minute und cm^2 , die Zahlen sind also unmittelbar vergleichbar mit denen eines jeden beliebigen anderen Ortes, an welchem in diesem physikalisch streng definiertem Maß gemessen wird.

Tabelle 5 enthält Tages-, Monats- und Jahreswärmesummen bei senkrechtem Einfall der Strahlen, ferner die Bestrahlung der Horizontalfläche bei Wolkenlosigkeit und unter Berücksichtigung der Bewölkung. Durch einfache Addition der zugehörigen Werte ergeben sich die Strahlungssummen der Jahreszeiten, der Vegetationsperioden, der Kursaisonabschnitte usw.

Der Tabelle 4 der Wärmestrahlung entsprechen solche über die Helligkeits-, blauvioletten und ultravioletten Intensitäten — auch für alle diese, mit recht verschiedenen Wirkungen begabten Strahlungen entnimmt man aus den Tabellen für jede beliebige Tagesstunde den zugehörigen Wert, und zwar für die ersten beiden Strahlengattungen im absoluten Maß der Hefnerkerze, welche den Vergleich mit jedem beliebigen Ort der Welt ohne weiteres möglich macht, für die ultravioletten Strahlen aber in einem konventionellen Maße, welches nur durch Abstimmung von Instrumenten gleichen Typs zu strengem Vergleich führen kann. Daß dies bei gutem Willen und genügender Organisation keine Schwierigkeiten bietet, haben die schon früher erwähnten einheitlichen Eichungen in Upsala seit Jahrzehnten und in Washington seit einigen Jahren bewiesen.

¹⁾ l. c.

Auch für die Ortshelligkeit, welche wir als die Beleuchtungsstärke der horizontalen Fläche definiert haben, und für die Bestrahlung der horizontalen Fläche durch die aktinischen blauviolettten und ultravioletten Strahlen existieren gleiche, für jede beliebige Tagesstunde die zugehörigen Werte angegebende Tabellen.

Die Ausdehnung des ultravioletten Spektrums, also die kleinste im Sonnenspektrum noch vorhandene Wellenlänge, gleichfalls für jede beliebige Stunde jeden beliebigen Tages, gibt Tabelle 6 an. Zu dieser Tabelle ist zu bemerken, daß das selbstregistrierende Instrument — übrigens ein Meisterwerk aus der Zeiss'schen Werkstatt — notgedrungen einen komplizierten Strahlengang haben mußte und nicht weniger als fünf Quarzprismen und zwei Quarzlinzen enthält, so daß natürlich eine kleine Schwächung der Strahlen eintritt und als kleinste Wellenlänge nicht genau die beobachtet wird, welche mit einfacheren Instrumenten noch erkennbar ist. Es kommt bei dieser Tabelle ja auch gar nicht so darauf an, die wirklich allerletzte Spur, die noch nachweisbar ist, und die immer von der Qualität der Optik mehr oder weniger abhängen wird, zu erfassen, als die Schwächung, welche die Ausdehnung des Spektrums in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit aufweist, und ob diese Schwächung bei der hier angewandten Optik nun an der Linie 293.9, welche als die kleinste aufgefaßt ist, oder bei 289, welche noch hier und da mit durchlässigeren Apparaten erwischt wurde, konstatiert wird, das ist ja schließlich gleichgültig, wenn nur die Durchlässigkeit der Optik stets dieselbe bleibt. Die Tabelle zeigt, daß der Unterschied der Ausdehnung des ultravioletten Spektrums bei hoher und niedriger Sonne auch im Hochgebirge ein recht bedeutender ist. Um die Mittagszeit schwankt sie von Dezember zum Juli um $12 \mu\mu$, bei niedriger Sonne, beispielsweise um 4 Uhr nachmittags, sogar um $18 \mu\mu$.

Die Zahlen aller dieser Tabellen haben wolkenlosen Himmel zur Voraussetzung, und ihre Werte sind als „Normalwerte“ bezeichnet. Diese Normalwerte zu fixieren, wäre die erste und wesentlichste Aufgabe für jeden Ort, der an ein ernstes Studium des Lichtklimas herangeht. Allein schon diese Normalwerte werden sehr wertvolle lichtklimatische Vergleiche zwischen den verschiedenen Orten ermöglichen, wobei ein ganz wesentliches Moment die Schwankung dieser Größen bei wolkenlosem

Tabelle 6.

Monatsmittel des Tagesganges der kleinsten im Sonnenspektrum wahrnehmbaren Wellenlängen,
unter Berücksichtigung aller Registrierungen in $\mu\mu$.

Monat	5-6 ^a	6-7 ^a	7-8 ^a	8-9 ^a	9-10 ^a	10-11 ^a	11-Mg.	Mg.-1 ^p	1-2 ^p	2-3 ^p	3-4 ^p	4-5 ^p	5-6 ^p	6-7 ^p
Dezember 1908	—	—	—	—	313.6	311.1	309.3	308.4	310.1	314.2	319.3	—	—	—
Januar 1909 . .	—	—	—	—	312.9	309.9	308.5	308.2	309.4	312.4	317.4	—	—	—
Februar 1909 . .	—	—	—	313.2	310.1	308.5	307.4	307.3	308.4	310.8	314.3	—	—	—
März 1909 . . .	—	—	309.5	309.9	308.0	306.9	306.6	306.6	306.8	307.8	310.3	312.6	—	—
April 1909 . . .	—	312.5	307.6	304.7	302.0	300.7	299.2	299.4	299.8	301.7	303.5	307.1	312.0	—
Mai 1909	316.0	306.6	305.7	302.8	301.0	300.2	299.4	299.4	300.1	301.1	303.1	306.0	310.0	—
Juni 1909	315.3	307.3	304.2	301.3	300.2	299.2	298.6	298.7	299.5	300.4	301.4	305.0	309.2	—
Juli 1909	319.0	312.0	306.3	303.1	300.9	298.8	297.3	296.9	298.5	299.6	301.7	305.0	308.4	315.8
August 1909 . .	320.2	313.2	307.2	301.0	299.4	297.5	297.6	297.0	297.4	299.5	301.8	305.5	307.0	—
September 1909	—	313.2	306.0	303.0	301.7	300.9	299.8	300.0	300.1	301.5	303.8	307.0	—	—
Oktober 1909 . .	—	—	309.5	306.0	303.9	301.2	301.0	300.3	301.7	304.0	306.5	—	—	—
November 1909	—	—	—	308.0	306.1	304.2	303.0	303.3	304.8	308.1	311.0	—	—	—
Dez./Febr. . . .	—	—	—	313.2	312.2	309.8	308.4	308.0	309.3	312.5	317.0	—	—	—
März/Mai	316.0	309.6	307.6	305.8	303.7	302.6	301.7	301.8	302.2	303.5	305.6	308.6	311.0	—
Juni/August . .	318.2	310.8	305.9	301.8	300.2	298.5	297.8	297.5	298.5	299.8	301.6	305.2	308.2	315.8
Sept./Nov. . . .	—	313.2	307.8	305.7	303.9	302.1	301.3	301.2	302.2	304.5	307.1	307.0	—	—
Jahr	317.6	310.8	307.0	305.3	305.0	303.3	302.3	302.1	303.1	305.1	307.8	306.9	309.3	315.8

Tabelle 7¹⁾.
 Einfluß des Bewölkungsgrades auf die photometrische Helligkeit, getrennt beobachtet
 nach Helligkeitsstufen S_{1-4}

Links: Mittelwert in 1000 Meterhefnerkerzen,
 Parenthese: Anzahl der Beobachtungen,
 Rechts: Verhältniszahl zum monatlichen Mittelwert von $S_4 B_0 = 100$.

Zeit und Sonnenhöhe	B_{10}	B_{9-7}	B_{6-4}	B_{3-1}	B_0	$S_4 B_0$
Nov./Febr. 20—34° . . .	S_4	58 (1) 100	92 (4) 159	71 (5) 122	61 (19) 105	58 100
	S_3	63 (2) 109	58 (11) 100	55 (7) 95	44 (1) 76	
	S_2	56 (3) 97	32 (7) 55	46 (1) 79		
	S_1	41 (25) 71	118 (1) 112	21 (1) 36	107 (12) 102	
März, Sept., Okt. 35—49°	S_4	68 (2) 65	137 (8) 130	85	100 (18) 95	105 100
	S_3	91 (3) 87	68 (2) 65	89 (7) 85		
	S_2	59 (6) 56	91 (3) 87	77 (1) 73		
	S_1	69 (7) 66	59 (6) 56	180 (10) 122	160 (22) 108	
April/Aug. 50—65° . . .	S_4	135 (9) 91	147 (7) 99	102 (3) 69	150 (13) 101	148 100
	S_3	117 (2) 79	104 (14) 70	58 (2) 39		
	S_2	85 (19) 57	71 (12) 48			
	S_1					
Jahr	S_4	106	137	111	100	
	S_3	109	85	93	76	
	S_2	88	79	74		
	S_1	65	53	49		

¹⁾ Hier ist nur ein Auszug aus der alle Monate und Jahreszeiten enthaltenden Originaltabelle wiedergegeben.

Himmel in Abhängigkeit von der Jahreszeit sein wird. Aufbauend auf diesen Normalwerten wären dann die Änderungen festzulegen, welche die Bewölkung und Helligkeitsstufe der Sonne verursacht. Aus drei Jahre hindurch regelmäßig um die Mittagszeit bei allen vorkommenden Beleuchtungen durchgeführten Messungen und aus ganzen Tagesreihen sind diese Änderungen abgeleitet und in Tabelle 7 zusammengestellt.

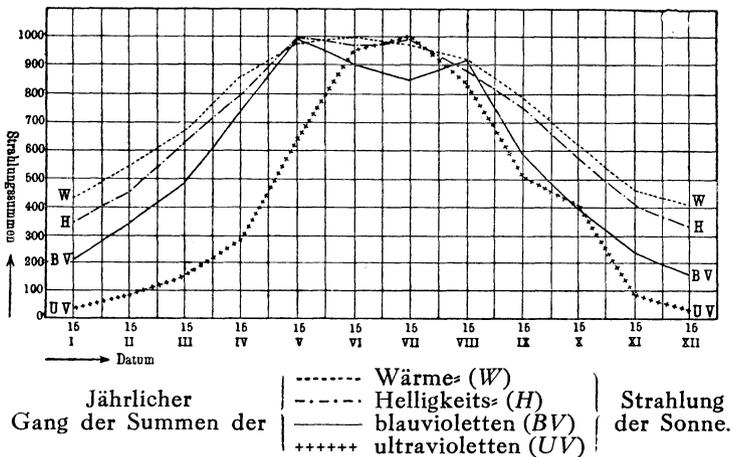
Diese ist folgendermaßen zu lesen: Wenn z. B. bei niedriger Sonnenhöhe, 20 bis 34°, die Helligkeitsstufe der Sonne S_3 und die Bewölkung B_{10} vorhanden ist, also ein ganz allgemein zart verschleierter Himmel, dann wäre der zur Tageszeit gehörige, aus der der Tabelle 4 analogen Helligkeitstabelle zu entnehmende Normalwert $\times 109/100$ zu multiplizieren, wenn man den wirklich herrschenden wissen will. Oder ein anderes Beispiel: Wenn bei hochstehender Sonne, 50 bis 65°, die Helligkeitsstufe S_1 und die Bewölkung B_{6-4} herrscht, also die Sonne eben noch als Schein erkennbar und die Hälfte des Himmels bewölkt ist, dann erhält man die herrschende Helligkeit, wenn man den zur Tageszeit gehörigen Normalwert mit $39/100$ multipliziert.

Man sieht aus diesen Beispielen eines: Sind die Normalwerte festgelegt, was je nach den klimatischen Bedingungen des Ortes ein oder mehrere Jahre erfordern wird, und ebenso die Änderungen, welche die Bewölkung und Helligkeitsstufe der Sonne veranlassen, dann ist die Arbeit ein für alle Male geleistet, das Lichtklima des Ortes ein für alle Male bestimmt, insofern, als Einzelwerte, so wie wir eben an Beispielen gesehen haben, für jeden vorkommenden Fall aus den Tabellen zu entnehmen sind, und daß die allgemeine systematische Verfolgung aus den Daten, welche heute schon die Meteorologie über Sonnenscheindauer und Bewölkung liefert, sich ergibt. Solange es keine zuverlässigen Autographen für die Strahlungsintensitäten gibt, scheint dies der gegebene Weg, und die, freilich nicht kleine, Arbeit der Beobachtung der Normalwerte wird nie verloren sein, ja sie ist sogar notwendig, auch wenn es späterhin gelingt, Autographen zu konstruieren, denn nur an der Hand der Normalkurven können solche ihre Probe bestehen. Solche Autographen herzustellen, ist man eifrig bemüht: In den Vereinigten Staaten zeichnet an drei Observatorien das Marvin-Pyrheliometer¹⁾ die senk-

¹⁾ Monthly Weather Review 1919, November.

recht auffallende Sonnenintensität in Intervallen von Minutenfrist wohl recht zuverlässig auf; in Davos ist es nach langwierigen Versuchen gelungen, eine geeignete Kombination von Zelle, Filter und diffundierendem Milchglas zu finden, welche unter allen Verhältnissen der Bewölkung und der Sonnenbedeckung eine Kurve zeichnet, die sich der photometrischen stets befriedigend anlehnt. Die Anlage ist seit Oktober 1919 in ununterbrochenem Dauerbetrieb. Ein gleichfalls auf der photoelektrischen Methode beruhendes, eine zusammenhängende Kurve lieferndes Registrierinstrument für die ultraviolette Inten-

Fig. 7.



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

sität der Sonnenstrahlung hat die ersten Proben auch zur Zufriedenheit bestanden.

Was aus einer so ausführlichen lichtklimatischen Analyse, wie sie oben kurz geschildert ist, im einzelnen abgeleitet werden kann, muß in der oben zitierten „Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung“, S. 47 bis 57, oder in den Originalwerken nachgelesen werden; nur ein Charakteristikum, welches für die Sonnenbestrahlungskuren doch wohl kaum des Interesses entbehren kann, soll hier noch hervorgehoben werden, nämlich der Wechsel der spektralen Zusammensetzung der Sonnenstrahlung mit Tages- und Jahreszeit.

Die Fig. 7 zeigt, wie verschieden schnell in Davos die vier Hauptwirkungen der Sonnenstrahlung [Wärme, Helligkeit,

aktinische (blauviolette), bakterizide (ultraviolette)] mit steigender Sonne zunehmen,

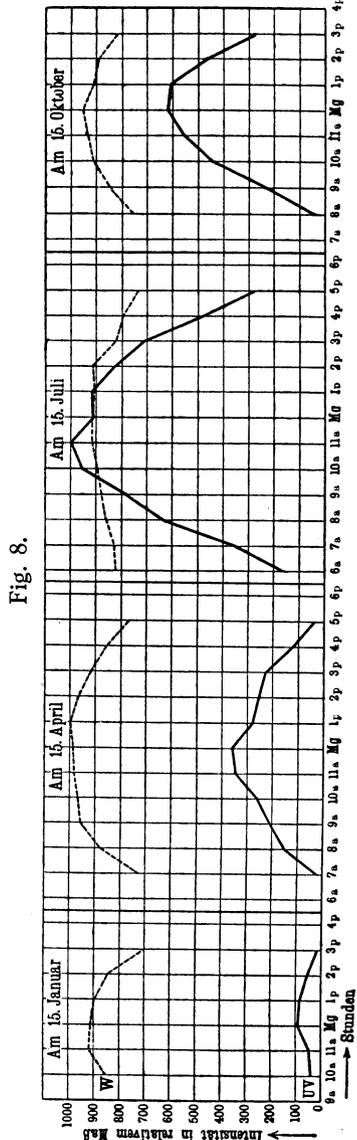
	von 30	auf 1000	im Ultraviolett,
	„ 270	„ 1000	„ Blauviolett,
	„ 480	„ 1000	in der Helligkeit
und nur	„ 770	„ 1000	„ „ Wärmeintensität.

Für die beiden Extreme (Wärme und Ultraviolett) werden die Unterschiede noch deutlicher durch die Fig. 8.

Die Wärmestrahlung (*W*) schwankt überhaupt nur sehr wenig und ist zu allen Tages- und Jahreszeiten für die praktische Kur im Hochgebirge annähernd von gleicher Intensität; ganz anders aber die ultraviolette Intensität (*UV*): Sie schwankt ganz gewaltig im Tageslaufe sowohl wie auch im Jahreslaufe und daher wechselt, wie diese Kurven beweisen, die spektrale Zusammensetzung der Sonnenstrahlung ganz ungemein. Wenn Wärme- und ultraviolette Intensität für den 15. Juli mittags einander gleich gedacht sind, so ist die Wärmeintensität am 15. Januar mittags etwa 10 mal so groß, am 15. Januar morgens fast 20 mal so groß als die ultraviolette Strahlung. Es ist also nicht die größere Intensität der Sonne, welche im Sommer bei forzierten Sonnenkuren die Haut verbrennt, sondern der größere Gehalt an ultravioletter Strahlung, die Wärmeintensität nimmt sogar ein wenig ab infolge des erhöhten Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre — wie wir schon S. 25 gesehen haben. Dazu erkennen wir aus der Figur einen großen Unterschied zwischen Frühjahrs- und Herbstsonne trotz der annähernd gleichen Sonnenhöhen; die Herbstsonne ist viel reicher an ultravioletten Strahlen. Der größeren Intensität entspricht auch eine weitere Ausdehnung des ultravioletten Spektrums im Herbst — es sind also im Herbst noch kürzere Wellenlängen vorhanden als im Frühjahr. Herr Dr. Bernhard ist aus der Praxis zum entgegengesetzten Schlusse gekommen, nämlich daß die Frühjahrssonne aktinisch stärker sei als die Herbstsonne, und das ist in physiologischer Hinsicht recht interessant, denn hiermit dürfte ein guter Beweis erbracht sein dafür, daß die Lichtentwöhnung des Menschen im Winter ihn ganz besonders reaktionsfähig bei steigender Sonne macht. Trotz der relativ starken und anhaltenden winterlichen Sonnenstrahlung des Hochgebirges fehlen ihr doch die kürzesten, zur Pigmentbildung am meisten beitragenden Strahlen; sie treten erst mit steigender Sonne auf (bzw. die im Winter als kürzeste

vorhandenen nehmen mit steigender Sonne relativ weit stärker zu als die langwelligeren Teile des Spektrums), und diese aktinisch besonders wirksamen Strahlen fallen auf eine Haut, welche ihrer ganz entwöhnt war. Natürlich kommt im Frühjahr wohl auch noch als Nebenwirkung der Schneereflex hinzu. Hier zeigt sich, daß bei diesen Studien die Physik vorangehen und die Konstanten liefern muß, und daß erst nach ihrer Kenntnis der Arzt seine Schlüsse endgültig ziehen kann. Dieselbe Ursache bringt bei verschiedenen Dingen nicht dieselbe Wirkung hervor; wir sahen, daß Wasser und Land bei gleicher Bestrahlung ganz anderen Wärmeumsatz mit der Luft haben, weil die Strahlen in das Wasser tiefer eindringen; wir sahen ferner, daß das Ängström-Instrument von dem amerikanischen Standardtyp abweicht, weil nur die Oberschicht der Auffangfläche Strahlen aufnahm, wogegen der elektrische Strom das ganze Volumen der Fläche durchströmt — bei des Menschen kompliziertem Mechanismus den wahren Vorgang aufzuklären, ist eine Aufgabe, die doch wohl erst teilweise gelöst ist, durch die hier festgestellte Diskrepanz zwischen physiologischem und physikalischem Befund aber ein wenig gefördert werden könnte.

Die Verhältnisse zwischen Sonnenlicht und Schattenlicht werden noch interessieren — nicht zum wenigsten mit Rücksicht auf die Unterschiede zwischen Luft- und Sonnenbad. Gemessen an der Horizontalfläche wechselt dies Ver-



hältnis stark mit der Sonnenhöhe, und zwar nimmt es mit ihr zu. Zu den Zahlen der Tabelle 8 muß man sich stets das diffuse (das Schatten-) Licht mit 100 als Nenner ergänzt denken.

Tabelle 8.

Verhältnis (S/d) 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
Blauviolettes Licht	65	128	313	344
Ultraviolettes Licht	1.7	12.3	47.6	85.1

Begibt man sich bei hochstehender Sonne (60°) aus der Sonne in den Schatten, so setzt man die rote Strahlung auf den 13. Teil, die blauviolette auf den 3. bis 4. Teil, die ultraviolette auf weniger als die Hälfte herab. Steigt die Sonne von 10 auf 60°, so erhöht sich der Unterschied zwischen Sonne und Schatten im Rot im Verhältnis von 1:3.5, im Blauviolett im Verhältnis von 1:5.3, im Ultraviolett aber auf mehr als das 50fache. Das Sonnenlicht ist selbst bei niedrigsten Sonnenhöhen in Rot und Grün heller als das Himmelslicht, im Blauviolett wird Sonnenlicht gleich Himmelslicht, wenn die Sonne 15° erklimmen hat, im Ultraviolett aber überwiegt bei allen Sonnenhöhen die Intensität des Himmelslichtes, denn selbst bei höchsten Sonnenhöhen ist die vom Himmel ausgehende ultraviolette Strahlung noch 15 Proz. stärker als die von der Sonne direkt kommende. Wir sehen also einen grundsätzlichen Unterschied zwischen ultravioletten und den anderen Strahlengattungen hinsichtlich der Bedeutung des diffusen Himmelslichtes.

Auch Vorder- und Unterlicht sind von Bedeutung für das Lichtklima: Das Vorderlicht ist — wie wir schon festgestellt haben — die Beleuchtungsstärke der vertikalen Fläche, und diese hängt recht von der Sonnenhöhe ab. Im winterlichen Davos fällt es ganz regelmäßig mit steigender Sonne infolge Zunahme des Einfallswinkels; in der Ebene, in Kiel, erreicht es sein Maximum bei 20° Sonnenhöhe, da bei niedriger stehender Sonne noch zu viel Strahlen durch Absorption verloren gehen.

Das mittlere Vorderlicht beträgt bei klarem Himmel in Kiel 0.67 im Verhältnis zum Oberlicht = 1, in Davos ist es ebenso groß wie das Oberlicht. Das Verhältnis zwischen Süd und Nord stellt sich so, daß Süd (also die der Sonne zugewandte Fläche) bei 20° Sonnenhöhe 7 mal, bei 40° Sonnenhöhe 4 mal stärker beleuchtet ist als Nord. Die Schneedecke reflektiert ungleich mehr als der Sandboden des Meeresstrandes, und auch die Gesamtwirkungen von Vorder- und Unterlicht sind, soweit Vergleiche möglich sind, am Meeresstrande nicht von der Bedeutung wie auf schneebedeckten Höhen, wo sie die des Oberlichtes annähernd erreichen, dergestalt, daß der im Freien sitzende Mensch von allen Seiten mit einer Lichtintensität bestrahlt wird, deren mittlere Stärke fast gleich der des Oberlichtes ist.

Zu erörtern wären nunmehr noch die weit verbreiteten, auf willkürlichen, ungenügend definierten Massen beruhenden, einfachen photographischen Meßmethoden. Mit allem Recht wird dem oben entwickelten Strahlungsprogramm entgegengehalten, daß es zu große Anforderungen in materieller Hinsicht und in bezug auf die Vorbildung und Schulung des Beobachters stellt, als daß es an vielen Orten Eingang finden könnte. Es ist daher auch nur für einige wenige charakteristische Ortstypen vorgeschlagen worden. Nicht zu unterschätzen ist, welchen Nutzen einfache Meßmethoden bringen können und gebracht haben und wie notwendig sie für viele Zwecke sind. Der Verbreitung etlicher derselben ist durchaus das Wort zu reden, aber mit dem Zusatz, daß es absolut notwendig ist, sich nicht darüber zu täuschen, was sie leisten können, vor allem, wo ihre Genauigkeitsgrenze liegt, und gerade hierüber sind irrige Ansichten weit verbreitet zum Schaden jeden größeren Fortschrittes auf diesem Forschungsgebiete. Der Hauptrepräsentant dieser Meßmethoden ist die Wiesnersche. Diese 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. 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 Methode hat ihre Verdienste: Wiesner selbst hat ja in pflanzenphysiologischer Hinsicht die größten Erfolge damit gehabt, als erster die Lichtintensität in Baumkronen, an Wurzeln und an auf andere Weise gar nicht erreichbaren mannigfachen Orten festgestellt und grundlegende Schlüsse über den Lichtgenuß der Pflanzen von vier Kontinenten gezogen. Rübel hat wertvolle charakteristische Zahlen über das hochalpine Strahlungsklima im Vergleich zu denen von Teneriffa und Marokko zusammengetragen, v. Schrötter und Furlani haben die österreichischen Alpen, die Adriaküste und das dalmatinische Küstengebiet untersucht, die umfangreichste und gründlichste Arbeit hat Schwab in Kremsmünster geleistet und gezeigt, daß von ein und demselben Beobachter durch ein sehr großes Material in Wirklichkeit auch nach dieser Methode eine gute Charakteristik des Lichtklimas eines Ortes gewonnen werden kann, aber 1. nur in relativem Maße, 2. in einem einseitigen und schlecht definierten Strahlengebiet. Relativ, weil die Auffassungen der Übereinstimmung der Schwärzung mit dem Normalton eine durchaus individuelle ist; der durch Mischung mit Ruß hergestellte Normalton ist schwarz, das sich färbende Normalpapier aber hat stets violette Nuancen, und zwar je nach Provenienz des Papiere und je nach Beleuchtungsart (Himmel oder Sonne, Wolken, Schnee, Wald und Wiesen) verschieden. Selbst in aller Ruhe und günstiger Umgebung kommen geradezu groteske Abweichungen in der Auffassung gleicher Schwärzung auch bei geübten Personen vor, wieviel mehr noch in blendendem Sonnenlicht, bei Schneereflex usw., und gerade bei diesen großen Intensitäten macht eine Differenz der Auffassung schon um $\frac{1}{5}$ Sekunde viel aus. Wiesner selbst schreibt: „es handelt sich eingeständenermaßen um keine große Genauigkeit, und selbst bei sorgfältigster Ausführung können Fehler bis zu 10 Proz. vorkommen“. Mit 20 Proz. setze ich nach meinen Erfahrungen den mittleren Fehler einer einzelnen Einstellung zu gering an, selbst wenn Beobachter und Papier dieselben bleiben; ohne genaue Abstimmung und Übereinkunft über die Art der Auffassung schweben Vergleiche zwischen verschiedenen Orten in der Luft. Einer der eifrigsten Anhänger der Methode ist v. Schrötter. Dieser sehr vielseitige und um die Strahlentherapie überaus verdiente Gelehrte meldet in seinen dalmat-

tinischen Untersuchungen an einer entscheidenden Stelle die Zahl 4.5. Bei näherem Zusehen erkennt man, daß sich dieselbe aus zwei Messungen von 3.4 und 5.6 als Mittelwert ergibt — Differenz also 2.2 oder 50 Proz. des eingesetzten Mittelwertes. Furlani hat nach dieser Methode nicht einmal die optische Störung durch den Ausbruch des Katmaivulkans im Sommer und Herbst 1912 wahrnehmen können, obwohl sogar die schwerfälligen Campbell-Stokes-Sonnenscheinautographen sie an allen Orten, an denen sie auftrat, gemeldet haben, wie es aus der von J. Maurer und dem Verfasser gemeinsam veröffentlichten Arbeit hervorgeht. Rübels Berninazahlen zeigen Schwankungen, wie sie nach den in Davos unter verwandten Verhältnissen gefundenen für unmöglich gehalten werden müssen, und der Extremwert von 6.5 auf Piz Tschierva in 3500 m Höhe dürfte durch das starke violette Nuancieren unter dem blauschwarzen Hochgebirgshimmel und durch Blendung durch Schneereflexe zu erklären sein. Einen schönen Fortschritt auf diesem Gebiete scheint Eders jüngst zusammen mit Hecht konstruiertes Graukeilphotometer¹⁾ zu versprechen, welches als Skalenphotometer in einfacher und gediegener Form ausgeführt, die Summe der Beleuchtung durch Tageslicht von $\frac{1}{2}$ Minute bis hinauf zu 65 Tagen zu bestimmen gestatten soll und aus übersichtlichen Begleittabellen sowohl die Lichtsummen wie auch die mittlere Intensität in Bunsen-Einheiten leicht erkennen läßt. Freilich muß für Bestimmungen der Ortshelligkeit das den Keil deckende, durch Reflexion und Polarisation Fehler verursachende Spiegelglas durch ein diffus machendes Milchglas ersetzt werden, auch scheinen die Tabellenangaben noch einer erneuten Prüfung im Tageslicht zu bedürfen. Das kleine und billige Instrument wäre durch leichte Abänderung auch zu Messungen unter Wasser brauchbar herzurichten. Es steht zu hoffen, daß eine mittlere Genauigkeit von 15 bis 20 Proz. mit diesem Graukeilphotometer wird erreicht werden können, und diese genügt für viele Zwecke. Freilich wird dieser Genauigkeitsgrad wesentlich sinken, wenn man nach Eders Vorschlag mit Hilfe von Filtern die auf einzelne Spektralteile entfallenden Intensitäten messen will.

¹⁾ J. M. Eder, „Ein neues Graukeilphotometer“, Wilh. Knapp, Halle a. S., erhältlich bei Herlango, Photographische Industrie, G. m. b. H., Wien III, 1920.

Hiermit kommen wir zu dem zweiten allen diesen Meßverfahren anhaftenden, gegenüber den exakten Meßmethoden grundsätzlichen Mangel. Der Spektralteil, in welchem gemessen wird, ist einseitig, nur auf kurzwellige Strahlen sich beziehend und für diese schlecht definiert. Selbst Papiere derselben Herkunft zeigen größere Abweichungen sowohl hinsichtlich der Ausdehnung des wirksamen Spektralteiles wie auch hinsichtlich der Lage des Maximums innerhalb desselben. Mit Hilfe einer wirklich exakten, wissenschaftlicher Prüfung standhaltenden, freilich mühsamen photographischen Methode, der Weber-Königschen, bei welcher der Vergleich mit einer auf der zweiten Hälfte desselben Papiere im Dunkelzimmer entworfenen Hefnerskala durchgeführt wird und deren Genauigkeit $2\frac{1}{4}$ Proz. beträgt, hat der Verfasser während $1\frac{1}{2}$ Jahren dauernd die Ortshelligkeit parallel zur photometrischen Messung bestimmt. Nirgends noch ist ein auf gleich großem Material beruhender, ebenso exakter Vergleich der tatsächlichen Bestrahlungsverhältnisse in der Natur zwischen photometrischen und photographischen Werten mit gleich exakten Hilfsmitteln durchgeführt. Das Schlußresultat ist niedergelegt in Tabelle 9.

Tabelle 9.

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

Setzt man die kleinste mittlere Tagessumme der Sonnenstrahlung im Dezember bei beiden Methoden gleich und gleich 1, so mißt man nach dieser Tabelle die Lichtsummen

der direkten Sonnenstrahlen bei hohem Sonnenstande etwa	2 ×	} größer als photo- me- trisch
des diffusen Himmelslichtes bei niedrigem Sonnenstande	4½ ×	
des diffusen Himmelslichtes bei hohem Sonnenstande	7 ×	
des Gesamtlichtes bei niedrigem Sonnen- stande etwa	1¾ ×	
des Gesamtlichtes bei hohem Sonnenstande etwa	2¾ ×	

und das Verhältnis von Sonnenlicht : Schattenlicht wird im Jahresmittel photometrisch etwa 3.4mal höher gefunden als photographisch, und zwar schwankend zwischen dem 5fachen Wert im Winter und dem 2fachen im Sommer. Es handelt sich also um Abweichungen von Hunderten von Prozenten. Der Beweis genügt wohl dafür, daß man in verschiedenen Spektralbezirken messen muß und unmöglich aus photographischen Werten auf photometrische schließen kann unter den wechselnden Verhältnissen der Natur.

Das sind herbe Kritiken, aber sie sind nötig. Man darf sich nicht darüber täuschen, was man auf dem gebräuchlichen bequemen Wege erreichen kann, und anderseits muß man wissen, welchen Genauigkeitsgrad man für seine Zwecke braucht, seien es pflanzliche oder tierische physiologische Untersuchungen, seien es Zwecke der Therapie, insbesondere der Sonnenkuren. Bisher lautet ja wohl einstimmig das Urteil dahin, daß bei den Sonnenkuren die Gesamtstrahlung der Sonne der einzelner Spektralteile vorzuziehen ist. Ist dies das letzte Wort? Übersieht man hier nicht nachteilige Wirkungen, welche die äußeren Einrichtungen mit sich bringen? Ein krasses und rohes Beispiel dafür, daß die spektrale Zerlegung unter gewissen Bedingungen notwendig ist, brachten die Kurven der Fig. 8, welche die voneinander abweichenden Schwankungen der Wärme- und ultravioletten Intensität mit Tages- und Jahreszeit darstellen; sie führten zu dem Schluß, daß es nicht die Gesamtintensität der Sonne ist, welche im Hochsommer bei forzierter Kur Schaden anrichten kann, sondern der zu große Gehalt an ultravioletten Strahlen. Schirmt man diese ab, was durch einen einfachen Glasschirm geschehen kann — aber nicht aus zu rohem Fensterglas, da dies infolge der ihm beigemengten Spuren von Eisenoxyden auch rote Strahlen in erheblichem Maße absorbiert —, so

kann bei sonst unveränderter Lage an der freien Luft der Patient seiner Kur ohne jede Gefahr obliegen.

Aber sollte wirklich nicht eine noch weitere Strahlenzerlegung die Sonnenkur unter Umständen fördern können? Soweit es die Pigmentierung anbetrifft, erwartet man doch bei dem jetzt üblichen Verfahren — kurz gesagt — von der vitalen Kraft des Patienten, daß er sich gegenüber dem ihm gebotenen, sehr mannigfaltigen Strahlungsgemisch dasjenige Lichtfilter schaffe, welches individuell für ihn am geeignetsten ist zum Schutz gegen unerwünschte oder zu intensive Strahlen und zur Rückbildung des Pigments und Überführung der Abbauprodukte in die Zirkulation. Der blonde Typ hat diese vitale Kraft, oder auch die Hautstruktur, nach allgemeiner Erfahrung hierfür weniger als der brünette. Kann man nicht versuchen, ihm zu Hilfe zu kommen, indem man die Strahlen, welche die Pigmentierung eher hindern, schwächt und nur die anderen wirken läßt, aber ohne gleichzeitig alle übrigen wirksamen Faktoren des Luftbades zu entziehen? Versuche hierüber im Lichtkabinett können wohl wertvolle Fingerzeige geben, aber nicht entscheiden, weil die übrigen physikalischen Bedingungen vollkommen andere sind als in der Freiluft. Als der Pigmentbildung ungünstig, teilweise sogar feindlich pflegt man doch im allgemeinen die langwelligen roten und gelben, vom Blute nicht absorbierten Strahlen anzusehen. Ist denn zur Förderung dieser Kenntnis die Strahlungsfähigkeit der Haut schon genügend untersucht? Man sollte vielleicht das Reflexionsvermögen am lebenden Körper systematisch zu studieren suchen, zunächst auf seinen physikalischen Charakter. Man unterscheidet bekanntlich zwischen der spiegelnden und der, im allgemeinen weniger energischen, diffusen Reflexion. Nach dem Augensein dürfte der Kinderkörper mehr spiegelnd, der Körper des Erwachsenen mehr diffus reflektieren; wandelt sich dann unter der Wirkung der Bestrahlung die Reflexion auch des Kinderkörpers (infolge Rauherwerden der Oberfläche) aus der spiegelnden in die weniger energische diffuse Reflexionsform, so erklärt sich hierdurch vielleicht zu einem Teil die im allgemeinen lebhaftere Reaktion des Kindes. Aber vor allem: Die spektrale Zusammensetzung des reflektierten Lichtes ändert sich doch sicherlich mit fortschreitender Pigmentierung, und ihre Beobachtung würde ausagen, welche Strahlenarten der Körper allmählich aufnehmen

lernt und welche er dauernd zurückzuweisen sucht, und dies sollte doch einen Hinweis geben darauf, welche Strahlen man ihm fernzuhalten, welche ihm nach Möglichkeit verstärkt zuzuführen man bestrebt sein soll, um die Pigmentierung, welcher die Heilung proportional zu gehen pflegt, zu fördern. Diese Untersuchungen über die Qualität des reflektierten Lichtes können doch selbst in der täglichen Praxis nicht unausführbar sein — ein einfaches Taschenspektroskop könnte vielleicht schon Anhaltspunkte geben; für genaue Messungen bedürfte es natürlich eines Spektralapparates, und sie müßten auch die Zusammensetzung des auffallenden Sonnenlichtes berücksichtigen, also sein Spektrum zusammen mit dem der Reflexstrahlung der Haut in unmittelbarem Vergleich ermöglichender Weise entwerfen. Schwerer als im sichtbaren Spektrum wären diese Untersuchungen im ultraroten durchzuführen, aber vermutlich auch dort nicht zu vernachlässigen; erwartet man doch wohl gerade von den Wellenlängen von 950 und mehr μ eine ganz besondere Wirkung auf die Haut, indem gerade durch sie das stratum germinativum angeregt wird zur Erzeugung und Abgabe von Stoffen an den Organismus, so daß die Keimschicht der Oberhaut als gleichwertig einer autonomen Drüse betrachtet werden kann. Solche Untersuchungen über das Reflexvermögen der Haut sollten die über das Absorptionsspektrum und die chemische Zusammensetzung der Melanine und ihrer Bausteine fruchtbar ergänzen können und weiter als diese greifen, weil sie Aussagen machen nicht nur über die Wirkung des Pigmentes, sondern darüber hinaus auch über die langwellige Strahlung, welche, durch das Pigment durchgelassen, tief in das Körperinnere dringt und dort auch eine Wirkung ausüben muß, auch wenn sie heute noch nicht vollkommen erkannt ist. Ob diese Strahlungsenergie wirklich nur den Körper als Wärmestrom von der bestrahlten zur unbestrahlten Seite durchläuft und hauptsächlich durch Strahlung abgegeben wird, sollte bei der gewaltigen Energiemenge (etwa $1.5 \text{ g cal/min cm}^2$ auf etwa 2600 cm^2 Körperoberfläche, umgerechnet auf senkrechte Bestrahlung bei mittlerer Sonnenhöhe, = 234 Kilogrammkalorien pro Stunde) annähernd zu entscheiden sein, wofür sichere Messungen über die Wärmestrahlung der Haut (der unpigmentierten ebenso wie der pigmentierten) vorliegen.

Auch bei partiellen Bestrahlungen, eventuell in Verbindung mit Stauung, müßten wohl aus dem spektral zerlegten Sonnen-

licht geeignet ausgewählte Strahlengattungen spezifische und daher energischere Wirkungen ausüben; auch die unterschiedliche Wirkung von absorbierenden und reflektierenden Pigmentkörpern, die Hämolyse in Abhängigkeit von der Wellenlänge und Intensität der Strahlung laden anscheinend stets aufs neue zur Aussonderung bestimmter Spektralbezirke ein. Es will dem Physiker absolut nicht eingehen, daß man aus dem großen Komplex von Strahlen ganz verschiedener Wirkungen, welchen die Sonnenstrahlung bietet, nicht mit Vorteil diejenigen wählt, deren spezifische Wirkung man wünscht, und die indifferenten und (nach manchen doch anscheinend maßgebenden Untersuchungen) der gewünschten Wirkung feindlichen ausschaltet. Die Versuche hierüber sollten doch vielleicht noch fortgesetzt werden, sowohl in der Praxis des Sonnenbades als auch im physiologischen Laboratorium. Die Anregung, der Reflexstrahlung der Haut besondere Aufmerksamkeit zu schenken, gilt übrigens auch für die Quarzlampebestrahlung, welche auch ganz verschiedene Erfolge hinsichtlich Pigmentierung und Heilung zeitigt. Hier sollten, da der große Komplex der ultraroten Strahlen fortfällt, die Beobachtungen in manchem Sinne leichter durchzuführen sein, und es dürften sich dann wohl auch Typen unterscheiden analog dem blonden und brünetten, und darüber hinaus noch solche in engeren, besser definierten Grenzen.

Die Strahlungsuntersuchungen an der pigmentierten und unpigmentierten Haut sollten nach Möglichkeit ergänzt werden durch solche über ihre Leitfähigkeit und auch über die Änderung ihrer Struktur hinsichtlich Rauheit oder Glattheit. Man könnte bei all diesem einen Vergleich ziehen mit den vielen Momenten, welche zusammenwirken, wenn die winterliche Schneedecke dem Erdboden Wärmeschutz gewährt: Bei der Wärmeaufnahme am Tage überwiegt, wie wir an der Schmelzwirkung sehen, die Einstrahlung trotz des sprichwörtlichen, sein großes Reflexionsvermögen dokumentierenden Weiß des Schnees, weil die große Rauheit der Oberfläche die Strahlenaufnahme begünstigt, und weil die Strahlen in bedeutende Tiefe dringen. Bei der Wärmeabgabe kühlen infolge der durch die Rauheit der Oberfläche bedingten sehr lebhaften Ausstrahlung die obersten Schichten sehr stark ab, der Frost dringt aber nicht tief ein und nicht bis zur Erde, weil der Schnee ein sehr schlechter Wärmeleiter ist. Auch

eine Änderung des Aggregatzustandes ist, wie bei der menschlichen Haut, so auch bei der Schneedecke in Rechnung zu ziehen — der Haut entgeht die latente Verdampfungswärme, dem Schnee die latente Schmelz- und Verdampfungswärme (ein nicht unbedeutender Teil, namentlich frisch gefallenen lockeren Schnees, verdampft, ohne zu schmelzen).

Was die Praxis des Sonnenbades bei teilweise abzuschwächenden Strahlen anlangt, so sollte das — wofern es sich um die wärmespendenden roten und gelben handelt — zur Sommerszeit bei warmer Lufttemperatur ohne weiteres gut zugänglich sein, und im Hochgebirge wohl auch zur Winterszeit auf den bei voller Windstille ja Zimmertemperatur annehmenden offenen Liegehallen. Erscheint der dem Physiker nächst liegende Vorschlag der Abschirmung vermittelt Glaschirmes gewünschter Durchlässigkeit zu kompliziert, so sollte wohl schon ein ganz leichter, weitmaschiger, entsprechend gefärbter Gazestoff als Bekleidung genügen. Über die Kleidung folgt ein wenig noch unten, hier mögen zunächst einige Angaben über Anstrichfarben stehen, welche für die Anlage von Solarien und für andere Zwecke interessieren dürften. Die vom Verfasser selbst angestellten Messungen sind seinerzeit ausgelöst durch Untersuchungen der Erwärmung der verschiedenen meteorologischen Hütten durch die Sonnenstrahlung; für sie ist die an seinem Beobachtungsort vorhandene Kombination von Windstille mit dem Kontrast zwischen intensiver Sonnenstrahlung und kalter Luft ganz besonders geeignet. Die Versuche wurden angestellt an allseitig frei und möglichst ganz geschützt gegen Reflexstrahlung und Wind aufgestellten, ausgehöhlten Holzklötzen von Zylinderform von 3 cm Höhe und 2 cm Durchmesser, die mit Quecksilber nur so weit gefüllt waren, daß dasselbe von den direkten Sonnenstrahlen nicht getroffen wurde; in dies tauchten, freischwebend, die Thermometerkugeln ein. Die Klötzchen waren in folgenden Farben gestrichen: Weiß, Rosa, Gelb, Rot, Schwarz. Als Resultat ist zu melden, daß die Zufuhr von einer Kalorie strahlender Wärme folgende Temperaturerhöhungen verursachte:

Weiß	10.8°
Rosa	11.0
Gelb	14.8
Rot	15.7
Schwarz	16.9

Am bemerkenswertesten hierbei ist, daß das Holz ein großer Wärmekollektor bleibt, auch wenn es mit best reflektierender weißer Farbe gestrichen ist, und daß die Anstrichfarbe gar nicht so viel ausmacht, wie man gemeiniglich glaubt, denn die dunkelschwarze Farbe bringt nur 6° fernere Temperaturerhöhung zu der 11° betragenden, welche das Holz unter dem weißen Anstrich erfährt. Mehr als auf die Wahl der Farbe kommt es also auf die Wahl des Baumaterials an. Parallelversuche dieser Art unter Verwendung von Holz- und Zementklötzen wären zu empfehlen. Bei absoluter Windstille ist die Lufttemperatur von nicht großem Einfluß bei dieser einseitigen Bestrahlung; kommt aber infolge Luftbewegung Wärmeabgabe durch Leitung hinzu, dann gehen (in rohen Zahlen) bei geringer Luftbewegung etwa 30 Proz., bei mittlerer etwa 60 Proz. der Einstrahlungswärme verloren, und zwar bei den stärker absorbierenden dunklen Farben merklich langsamer als bei den hellen. Kommt anderseits Reflexstrahlung von hellen Wänden der Umgebung hinzu bei sonst unverändert freier Aufstellung, also voller Umspülung des Holzklotzes durch die Luft, so erhalten die dunkleren Farben etwa $\frac{1}{3}$, die helleren etwa $\frac{1}{5}$ größeren Wärmezuwachs. Hört die Wärmezufuhr durch Strahlung auf bei Verschwinden der Sonne, so sinkt die Temperatur der dunklen Farben entsprechend ihrem höheren Temperaturüberschuß über die Temperatur der umgebenden Luft schneller, namentlich während der ersten 10 Minuten; nach 20 Minuten beträgt der Temperaturüberschuß über die Luft noch etwa $3\frac{1}{2}^{\circ}$ gegen $2\frac{1}{2}^{\circ}$ bei den hellen Farben, nach 40 Minuten etwa 2° gegen 1° — die Wärmeabnahme erfolgt also allgemein recht langsam.

Die Amerikaner haben jüngst interessante Vergleichsmessungen der Sonnentemperatur von asphaltiertem, plattiertem und chausseeartigem Steinbodenbelag und der über ihm befindlichen Luft angestellt, mit dem summarischen Ergebnis, daß an klaren Sommertagen in Riverside (Illinois)

Asphalt	um 10° C
Trottoirplatten	„ 7
Chaussee	„ 5

höhere Temperatur annimmt als eine in der Sonne liegende Wiesenoberfläche, während in $\frac{1}{2}$ bis 1 m Höhe über dem Boden die Luft um $3\frac{1}{2}$ bis 4° C wärmer ist als über der Wiese. Der Staub des Exerzierplatzes hatte in Texas eine

Temperatur von 61.3°C bei einer Lufttemperatur von 38°C in 1 m Höhe über dem Erdboden.

Gut absorbierende schwarze Tuchstoffe erwärmen sich in freier Luft bei Windstille unter intensiver Sonnenbestrahlung bis zu 75°C , und annähernd gleiche Temperaturen kann man innerhalb der gut schließenden, dunkelbezogenen, bei Winterkuren üblichen Liegesäcke unter Extremverhältnissen des Frühjahrs feststellen. Dichtere Gewebe büßen durch Färbung den größten Teil der Durchlässigkeit für aktinische Strahlung ein, die Farbe und die Dicke des Zeuges ist dabei natürlich nicht ganz ohne Einfluß. Das imprägnierte Gewebe läßt von diesen Strahlen nur etwa $\frac{1}{100}$ so viel durch wie die Rohware. Von Wärmestrahlen nimmt ungefärbtes Seidengewebe nur etwa $\frac{2}{3}$ so viel auf wie ungefärbter wollener Trikot; nicht die Verschiedenheit der Stoffe, sondern die Webart geben hierbei den Ausschlag, und von bedeutendem Einfluß ist auch die Beschaffenheit der Oberfläche, die stark reflektierende Glätte der Seide gegenüber der stark absorbierenden Rauheit der Wolle. Hinsichtlich der Wärmeleitung verhalten sich aber die Grundstoffe Wolle, Seide, Baumwolle verschieden, dergestalt, daß Wolle das geringste, Baumwolle das beste Leitungsvermögen besitzt; verschiedene Webart, d. h. mehr oder weniger großer Einschluß von (schlechter leitender) Luft kann diese Differenzen im Leitungsvermögen überkompensieren. Einen Anhalt für die Wirkung der Winterkleidung auf die Hauttemperatur des Menschen geben folgende Zahlen Rubners:

Die Temperatur der Haut und der
Kleideroberfläche.

Bei Lufttemperatur	Unbekleidete Stellen	Unter den Kleidern wärmer um	Über den Kleidern kälter um
10 ^o	29.0 ^o	3.2 ^o	9.7 ^o
15	29.2	2.4	8.2
17.5	30.0	1.4	7.1
25.6	31.2	1.0	4.6

Es dürfte gut sein, am Schluß dieses Abschnittes über Strahlung noch einmal zu resümieren, wie wohl lichtklimatische Untersuchungen am besten organisiert werden: Observatorien, welche so ausgedehnte Beobachtungen anstellen, wie

sie durch die Davoser Zahlen oben illustriert sind, werden stets nur für größere Landesteile möglich und auch nötig sein; für Deutschland dürften 6, für die Schweiz 2 genügen. Höhenobservatorien im wahren Sinne des Wortes hätten wenig Zweck, denn wir wollen doch nicht so die Extremverhältnisse kennen wie die mittleren, welche den Menschen, der Tier- und Pflanzenwelt zugute kommen. Extremwerte können durch Exkursionen von den großen festen Stationen aus stichprobeweise erfaßt werden. Sehr wünschenswert wäre nun aber, daß an einer größeren Reihe passend gewählter Orte zuverlässige Messungen der Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralteilen angestellt würden, zu welchen (vom klimatischen Standpunkt aus) das ausführlich besprochene Michelson-Aktinometer genügen würde, wenn sein Eichwert von einem der Hauptobservatorien von Zeit zu Zeit geprüft würde. Wir haben beispielsweise klimatische Oasen in der Schweiz, die Strahlung dürfte an diesen einen der ausschlaggebenden Faktoren bilden. Stehen die Mittel zur Verfügung, so wäre das Michelson-Instrument zu ergänzen durch das sogenannte „Relativphotometer“ L. Webers¹⁾, mit dem man in einfacher und doch für klimatische Verhältnisse genügend genauer Weise photometrisch die Himmelsstrahlung sowie die Ortshelligkeit, Vorderlicht und Unterlicht verfolgen kann. Wünscht man über rein lokale Strahlungsverhältnisse unterrichtet zu sein, etwa über die eines Zimmers, einer Liegehalle, so dürfte Eders Graukeilphotometer in aller Kürze genügen; leicht wird mittels seiner die maximale Lichtintensität um die Mittagszeit, die Lichtsumme des Tages über längere Perioden, der Intensitätswechsel innerhalb des Zimmers oder der Liegehalle bei näherer oder weiterer Entfernung vom Einfallsort der Strahlung mit genügender Genauigkeit zu ermitteln sein. Abstimmung der Skalen mit derjenigen einer größeren Station wird von Zeit zu Zeit freilich nötig, aber auch möglich sein.

Bevor wir zum Schluß- und Hauptabschnitt übergehen, der Erwägung darüber, wie Medizin und Meteorologie am zweckmäßigsten Hand in Hand miteinander arbeiten, seien einige Einzelfragen hier erörtert. Zunächst eine an das soeben abgeschlossene Kapitel der Strahlung anschließende: Dem in der freien Natur mit photometrischen Arbeiten

¹⁾ Erhältlich bei Franz Schmidt & Haensch, Berlin.

Beschäftigten drängt sich ein Vergleich auf zwischen dem Purkinjeschen Phänomen und Wiens Verschiebungsgesetz. Nach ersterem paßt sich das menschliche Auge durch seine mit Abnahme der Helligkeit zunehmende Empfindlichkeit für kurzwellige Strahlen dem für die Temperaturstrahlung der Körper gültigen Gesetz an, nach welchem bei Abnahme der Intensität gerade die kurzwelligen Strahlen am stärksten einbüßen. Hierin scheint sich eines der vielen Wunder zu offenbaren, welche wir an des Menschen kostbarstem Organ schauen, und es bietet vielleicht einen schönen Beitrag zur Entwicklungsgeschichte. Bestehen hier neben den qualitativen auch noch quantitative Beziehungen?

Bei Klimawechsel wird dem psychischen Moment sicher mit Recht großer Wert beigelegt. Hierzu möchte der Verfasser seine persönlichen, in häufiger schneller Reise vom Hochgebirgstal zum deutschen Meeresstrande gesammelten Eindrücke folgendermaßen formulieren: Im ersten Falle das Bild absoluter Ruhe, keine Bewegung in der ganzen Natur, im zweiten Falle die fast nie rastende, immer lebhaftere, von säuselnden bis heulenden Tönen begleitete Bewegung in Höhe und Tiefe, an Blättern und Bäumen, am Staub der Straße, im Wehen der Kleidung und nun gar erst im Spiel der Wellen am Meeresstrande. Alles Nervenreiz, Aufregung erzeugend, während die übrigen begleitenden Faktoren (mittelhohe und wenig schwankende Temperatur, geringe Verdunstung, großer Luftdruck, geringe Strahlung) beruhigend wirken, im großen Kontrast zum Hochgebirgstal, in welchem alle durch das Auge aufgenommenen Erscheinungen das Bild voller Ruhe bieten, während alle anderen genannten Faktoren in hohem Maße stimulierend wirken. Psychische und physische Einflüsse wirken also in beiden Fällen einander entgegen — sicher zum Heile des Menschen.

Zur Klimaänderung gehört auch die Reise: Jeder hat die als Vorgefühl der Bewegung eine gute Stimmung auslösende Wirkung allein schon des Lokomotivenpiffs nach längerem Warten gespürt; zweifellos ist das Gefühl der gleichmäßigen schnellen Bewegung und des mühelosen Dahineilens durch die Landschaft mit ihren wechselnden Bildern, bei Vermeidung von Übermüdung, ein angenehmes, und jeder, dem es vergönnt war, losgelöst von der Erde Schwere durch die Lüfte zu fliegen, ist enthusiastisch dafür sein Leben lang. Alle wissen

aber auch, daß das bei plötzlichem Anfahren und plötzlichem Anhalten ausgelöste Gefühl ein recht unangenehmes ist; schon im Lift macht sich das recht deutlich geltend, wer es aber je einmal im Fesselballon kennen gelernt hat, weiß, daß die allermeisten da ihren Tribut zahlen müssen. Die Ursache? Induktionsströme? Das würde auf das schlüpfrige Kapitel des tierischen Magnetismus führen. Genügt nicht (außer der zweifellos besonders wirksamen psychischen) die Erklärung durch verschiedene Elastizität der Zellenwände und des flüssigen Zelleninhaltes sowie durch den Wechsel des Druckes, unter welchen die in Körperhöhlen eingeschlossenen Gase kommen? Haben wir nicht in der Seekrankheit dieselben Momente, also auch wohl die gleichen, soeben erwogenen Ursachen? Das Ausbleiben der Krankheit bei ganz kleinen Kindern würde für diese Deutung sprechen.

Zum tierischen Magnetismus noch ein Wort: Hier und da in medizinischen Kreisen erhofft man wohl die Erklärung mancher Erscheinungen des tierischen Magnetismus von den noch unbekanntem Strahlen jenseits des äußersten Ultrarot (der Wellenlänge 0.6 bis 2 mm, bei welcher die elektrischen Wirkungen beginnen) und jenseits des äußersten Ultraviolett (42 bis $0.18 \mu\mu$, der Grenze der Röntgenstrahlen). Wären diese Strahlen in der freien Natur vorhanden, dann wären sie auch mit den der Physik zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln nachweisbar. Es ist zu beachten, daß die ultravioletten Strahlen bei den Wellenlängen aufhören, welche von fast allen Körpern verschluckt werden, d. h. bei diesen Wellenlängen beginnen die Eigenschwingungen der schwingenden Gebilde in allen Körpern. Der Bereich der Eigenschwingungen hört dann auf im Gebiet der Röntgenstrahlen, welche bekanntlich sehr wenig absorbiert werden.

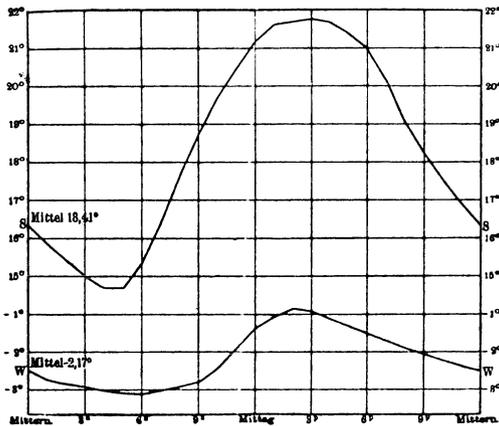
In mannigfacher Weise erwogen ist die Abspaltung des Sauerstoffs innerhalb der Zellen unter der Wirkung eindringender Strahlung, und der status nascendi ist dabei sorgsam beachtet, aber — wenn es auch vorläufig nur spekulativ ist — auch außerhalb der Zellen in der eingeatmeten atmosphärischen Luft können wir den status nascendi vielleicht schon vorfinden. Nicht an den dreifach gebundenen Sauerstoff, das Ozon, wird hierbei gedacht, sondern an den Prozeß der Ionisierung der Luft durch die Strahlung beigemengter radioaktiver Stoffe. Bei der Ionisierung werden bekanntlich die äußeren Elektronen

der Atome in Freiheit gesetzt. Geht hiermit eine weitgreifende Aufspaltung oder Lockerung der Moleküle parallel? Molekularbestimmungen von Sauerstoff während gleichzeitiger Dauerbestrahlung mit radioaktiven Strahlen sind wohl noch nicht durchgeführt, es dürfte bei der Kleinheit des Verhältnisses der abgespaltenen Ionenzahlen zu den vorhandenen auch gar keine Aussicht bestehen, hierbei Änderungen festzustellen, wohl aber lohnten sich vielleicht Experimente hinsichtlich einer möglichen Änderung der Reaktionsgeschwindigkeit bei Zufuhr von radioaktiver Strahlung. Einfach würde sich beispielsweise die Beobachtung der Farbenänderung gestalten, welche eintritt, wenn Stickoxyd (NO) Sauerstoff aufnimmt. Schon visuell (eventuell photometrisch) müßte eine eventuelle Geschwindigkeitsänderung der Reaktion erkennbar sein, und, da sich bei dieser Reaktion 3 Volumina auf 2 verdichten, $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$, wäre der Vorgang volumimetrisch recht genau zu verfolgen. Zeigt sich dann auch bei Anwendung von Höhenluft einerseits, Anwendung von Luft der Ebene andererseits, entsprechend dem größeren elektrischen Leitvermögen der ersteren, ein Unterschied der Reaktionsgeschwindigkeit, dann wäre ein Beweis erbracht für die größere Aktivität des Sauerstoffs der Höhenluft, und es fände dadurch die große tonisierende Wirkung der Hochgebirgsluft zu einem nicht unwesentlichen Teile ihre Erklärung, zumal die zweite Bedingung für eine lebhaftere Aufnahme und Abgabe des Sauerstoffs im Blutkreislauf, die Sonnenstrahlung, gleichfalls gesteigert ist gegenüber den Verhältnissen der Ebene.

Die Tropenkrankheiten der Europäer werden sicherlich mit Recht in erster Linie zurückgeführt auf die durch die Moskitos übertragenen tropischen Malaria- und andere Fieber neben zu geringer Funktion oder Ausbildung des Schweißdrüsen systems. Nicht gebräunt, sondern „gebleicht“ und „kalt graulich“ wird die allgemeine Anämie anzeigende Hautfarbe. Über die rein meteorologischen Einflüsse sind wir hierbei noch keineswegs genügend aufgeklärt, insbesondere fehlen exakte Messungen der Sonnenstrahlung. Aus Erfahrung wissen wir, daß der Europäer nicht ungestraft in den Tropen auch nur minutenweise unbedeckten Hauptes sich der Sonne aussetzen darf, der Hitzschlag ist die unmittelbare Folge. Die Wärmestrahlung dürfte diesen Effekt schwerlich auslösen, denn der starke Wasserdampfgehalt schwächt dieselbe sehr erheblich, auch ist

ja die Lufttemperatur im allgemeinen kaum heißer als an heißen Tagen der gemäßigten Zone. Ungeklärt ist also noch, ob der ultraviolette Anteil an der Strahlung der Tropensonne so verderbenbringend gesteigert ist oder ob die Ursache der Erscheinung in dem überaus geringen physiologischen Sättigungsdefizit liegt. Tatsache ist, daß in den Tropen zur heißen Jahreszeit am Tage die leichteste Bewegung ein Ausbrechen des Schweißes über den ganzen Körper zur Folge hat und daß zur Mittagszeit trotz der gesteigerten Temperatur die unerträgliche „Schwüle“ etwas weniger belästigt, da das Sättigungsdefizit sich bei Zunahme der Temperatur wenigstens ein

Fig. 9.



Täglicher Gang der Temperatur in Berlin im Januar (W) und Juli (S).

klein wenig erhöht. Was bedeutet denn überhaupt „stechende Sonne“, von der wir hauptsächlich an Gewittertagen sprechen? Eine vollkommen erschöpfende Antwort dürfte noch schwerlich zu geben sein. Es wirken zusammen: In unmittelbarer Sonnennähe stark (für aktinische Strahlen mindestens um 30 Proz.) gesteigerte Himmelsstrahlung, verursacht durch häufig visuell kaum erkennbare zarteste Cirri, ferner meist allgemein gegen den ganzen Himmel herabgesetzte Ausstrahlung, da sich, abgesehen von den allmählich zahlreicher werdenden dichten Cumuli, die Neigung zur Cirrusbildung an Gewittertagen meist am ganzen Himmel zeigt, ferner die dem Gewitter voraufgehende Windstille und schließlich die sogenannte

„Schwüle“, das geringe Sättigungsdefizit, großer Wasserdampfgehalt der Luft bei hoher Lufttemperatur.

In einem Schlußabschnitt soll nun erwogen werden, wie die Meteorologie der Medizin am besten dienen kann. Alle Welt schilt auf den Meteorologen, und der Mediziner hat noch mehr als die übrigen das Recht dazu, wenn er Daten, die er verwenden soll, in einer Form geliefert bekommt, die ihm wenig brauchbar erscheint. Zur Rechtfertigung der Meteorologie, zum Beweis, daß sie keineswegs so einseitig ist, wie häufig aus der fast allein bekannten Tabellierung dreier Terminablesungen gewisser Elemente und ihrer mechanischen Mittelbildung geschlossen wird, und daß sie sich bemüht, die verschiedenen von ihr erstrebten Zwecke bestens zu erfüllen und abweichenden Ansichten und Bedürfnissen der Praxis Rechnung zu tragen, mögen hier zunächst die üblichsten Darstellungsweisen kurz besprochen werden.

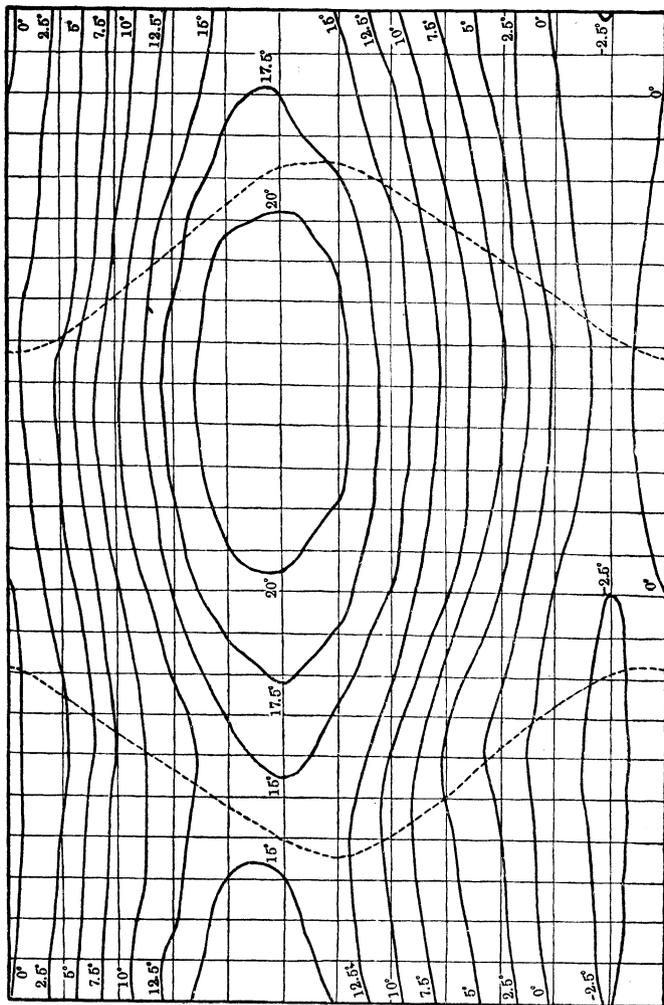
Fig. 9 zeigt die gewöhnliche graphische Darstellung eines meteorologischen Elementes mit den zeitlichen Veränderungen, welche an ein und demselben Beobachtungsort stattfinden. Unmittelbar auffaßbar sind Gang (Tages- oder Jahresgang), Art der Schwankungen (einfache oder doppelte Periode), Eintrittszeiten der Extreme, Amplituden derselben neben allen Absolutwerten.

In gleicher Weise gezeichnete Isothermen und Isobaren finden Verwendung sowohl im täglichen Wetterdienst als auch in der Klimatologie. Auch Isallobaren, Linien gleicher Druckänderungen, welche Fall- und Steiggebiete des Luftdruckes charakterisieren, zeichnet man — nicht zum wenigsten für Zwecke der Physiologie.

Durch die Isoplethendarstellung der Fig. 10 verbindet man Tages- und Jahresgang. Abszisse = Tagesstunde, Ordinate = Monat. Jedem Schnittpunkt der Ordinaten entspricht eine gewisse Stunde eines gewissen Monats. Die Verbindung der gleichen Werten zugehörigen Punkte gibt ein Kurvenbild, wie das obige, die Temperatur ausweisende. Diese Darstellung ist recht geeignet, um eine Übersicht über das Klima eines Ortes zu gewinnen: Eintrittszeit, Dauer und Höhe der extremen Temperaturen des Jahres und Tages ergeben sich unmittelbar, auf die Größe der jährlichen Schwankungen schließt man aus der Zahl und Dichte der einzelnen Kurven, auf die Tagesschwankungen aus dem Grade ihrer Krümmung.

Fig. 11 gibt eine Übersicht über das ganze Erdklima, die Mittelwerte der Breitenkreise. Ordinatenanschriften rechts und links geben die Werte der Elemente an, die über der

Fig. 10.



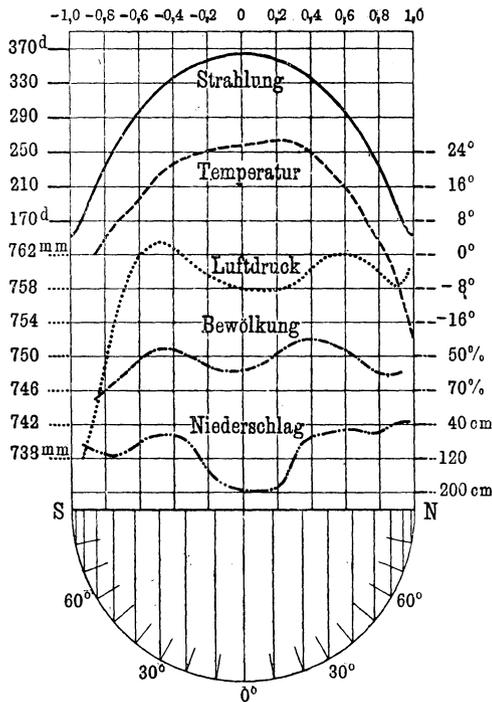
Thermo-Isoplethen (Temperaturfläche) von Berlin.

Figur stehenden Abszissenwerte entsprechen dem Sinus der Breitenkreise, wodurch gleich große Flächen der Erdoberfläche dargestellt werden, denn zwischen beispielsweise dem Äquator und dem 10. Breitenkreise liegt etwa $\frac{1}{6}$ der ganzen Erdhälfte,

zwischen dem 80. und 90. Breitenkreise aber nur etwa $\frac{1}{70}$. Die Projektionszeichnung am Fuße zeigt das ohne weitere Erklärung.

Die sogenannte Windrosendarstellung macht den Zusammenhang der Windrichtung mit den übrigen meteorologischen Elementen leicht erkennbar. Die synoptische, der

Fig. 11.



Klimatologische Mittelwerte der Breitenkreise nach v. Bezold.

Wettervoraussage dienende Wetterkarte wird heutzutage gemeiniglich schon geläufig gelesen: Nur Luftdruck und Temperatur sind mit Ziffern aufgeführt, Bewölkung ist dargestellt durch teilweises Ausfüllen der die Stationsorte umgebenden kleinen Kreise, Wind durch Pfeile, deren Spitze im Stationsort liegt, Niederschlag durch die bekannten Zeichen. Linien gleichen Luftdrucks und gleicher Temperatur sind 5 mm-weise bzw. 5°-weise fortschreitend ausgezogen.

In noch mannigfacherer Weise als graphisch hat man tabellarisch versucht, sich den Bedürfnissen der Wissenschaft und des praktischen Lebens anzupassen. Die Tabellen 4 bis 6, gruppiert nach Tagesstunden und Monaten, entsprechen beispielsweise der Isoplethendarstellung in Fig. 10, sind aber, wenn auch voluminöser, so doch bequemer und genauer für das Ablesen von Einzelwerten.

Nicht mit Unrecht wird in manchen Fällen Kritik geübt an der Ableitung der Tageswerte durch Mittelbildung aus drei Terminablesungen; unmöglich können sie stets genau zu treffen und noch weniger sind ihre Aussagen erschöpfend. Man bemüht sich daher, sie durch leicht faßbare andere Gruppierungen zu ergänzen — beispielsweise durch Sonderung nach strengen und mittleren Wintern, nach warmen und kalten Sommern, indem man tagesweise oder terminweise Gruppen von mittleren und nach beiden Seiten abweichenden Temperaturen bildet, und das Verhältnis der Anzahl der in die drei Gruppen entfallenden Tage verwertet. Man erhält auf diese Weise die „Wahrscheinlichkeit“ der Erscheinungen. Fernerhin ist es klar, daß nicht ein einzelnes meteorologisches Element den Gesamtcharakter von Klima und Wetter anzeigt; beispielsweise ist strenger Frost bei windstillem Wetter leichter zu ertragen als gelinder Frost bei starkem Winde. Man hat daher auf Grund von Messungen der Abkühlung, welche das Wetter auf ein und denselben Gegenstand ausübt, den Begriff der „Winterstrenge“ in mathematische Formeln zu fassen gesucht, welche die Strenge als Funktion von Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit darstellen. Die von Bodmann stammende Formel:

$$S = (1 - 0.04 t) (1 + 0.272 v)$$

S Strenge, t Lufttemperatur, v Windgeschwindigkeit

hat viele Proben gut bestanden. Wie man leicht aus der Formel erkennt, hängt die Strenge viel mehr vom Wind als von der Temperatur ab. Eine andere Formel (die Vincentsche):

$$H = 26.5 + 0.3 L + 0.2 S - 1.2 W$$

L Abstand der Lufttemperatur von 0 Grad, S Temperatur des Insolationsthermometers abzüglich Schattentemperatur, W Windgeschwindigkeit m/sek

sucht noch den Einfluß der Sonnenstrahlung einzuführen, hat sich aber nicht so gut bewährt, ebensowenig ist der Ruben-

schen (wohl auch Wolpertsche genannten) Regel, daß man den halben Überschuß der Sonnen- über die Schattentemperatur zu letzterer hinzuzählen soll, um ein Maß für den Wärme- einfluß zu erhalten, Allgemeingültigkeit zuzuerkennen. Wir sahen schon oben, daß die Größe der „Sonnentemperatur“ in reichem Maße vom verwandten Instrumententyp abhängt, wir sahen ferner, insbesondere an den genauen Strahlungsmessungen an den Holzklötzchen, welchen großen Einfluß die Luftbewegung hat. Den umfassendsten Versuch, das Klima einheitlich zu formulieren, hat Köppen gemacht, indem er der Temperatur die sonst gebräuchliche Vorzugsstellung nahm, und die beiden Grundlagen des Lebens, Wärme und Wasser, als gleichwertig anerkennend Klimaformeln aufstellte, welche durch große Buchstaben bezeichnete sechs Klimagruppen unterscheiden (einmal nach kurzer Kennzeichnung des Ortes, das andere Mal nach klimatischen Gebieten) durch Zusatz von kleinen auf die Feuchtigkeit bezüglichen Buchstaben nebst auf die Verteilung der Niederschläge bezüglichen Indizes und durch Beifügung von Charakterzeichen für die Windart.

Von ärztlicher Seite ist seit langem der Wunsch gehegt worden, die Gesamtwirkung der meteorologischen Elemente im Kalorienmaß angegeben zu erhalten, und recht begreiflich ist das, denn die Kalorienrechnung ist, wie jüngst Carl Oppenheimer klar hervorhob, ohne wesentliche Fehler anwendbar auf das wichtige Gebiet der Stoffwechsellehre, wenn diese Anwendung auch in theoretischer Hinsicht unrichtig ist. Die Bemühungen zur Konstruktion entsprechender Meßinstrumente sind — was anerkennend hervorzuheben ist — von ärztlicher Seite ausgegangen. Schon im Jahre 1876 konstruierte Dr. Krieger in Straßburg ein dem Frankenhäuserschen Homoeotherm sehr ähnliches Instrument, und hat mit ihm auch ziemlich umfangreiche Messungen der Art, wie F. sie empfiehlt, ausgeführt, insbesondere aber den Wärmeschutz, welchen verschiedene Kleidungsstoffe gewähren, zu bestimmen gesucht. Frankenhäusers Homoeotherm¹⁾ ist zu bekannt, als daß es hier seiner Beschreibung bedürfte, ebenso bekannt dürfte aber auch sein, daß er nicht voll befriedigt: Außer Fehlern, welche die sehr derben, zum Anfassen dienenden Ringe aus Speckstein und das weit herausragende, sehr voluminöse

¹⁾ Zeitschr. f. Balneologie 1911.

Thermometerrohr verursachen, Fehler, welche ja schließlich experimentell nach Durchschnittswerten festzulegen wären, besteht der prinzipielle Fehler darin, daß die Konvektionsströme des Wassers von der schnell abkühlenden äußeren Kupferwandung zur Thermometerkugel nicht gleichmäßig in Rechnung fallen, und die geringste Erschütterung vor dem Ablesen genügt, um den Quecksilberfaden rapide fallen zu lassen. Nun hat während des Krieges Leonhard Hill¹⁾, sich über die Genauigkeitsskrupeln der deutschen Ärzte hinwegsetzend, den Wassermantel fortgelassen und nur ein einfaches, weit graduiertes Weingeistthermometer genommen, und erwärmt dies einmal trocken, einmal umgeben von feuchtem Mousselin im Wasserbade auf 100° F. Beobachtet wird die Zeit, innerhalb welcher der Thermometerfaden von 100° auf 95° fällt. Die Eichung findet nach Bestimmung des Wasserwertes des Thermometers einmal in windstiller trockener Luft, sodann in einem Luftstrom meßbarer Geschwindigkeit und meßbaren Feuchtigkeitsgehaltes statt. Die Abhängigkeit des Temperaturabfalls von Windstärke und Feuchtigkeitsgehalt der Luft ist in einfacher Weise formuliert. Der Zweck dieses Instrumentes war augenscheinlich, eine Übersicht zu erhalten über die Extremverhältnisse, unter welchen die englischen Truppen auf den klimatisch so verschiedenen Kriegsschauplätzen zu kämpfen hatten. Dies Ziel erreicht das Instrument wohl sicherlich, ebenso wie das Schwarzkugelphotometer in seinem Wert nicht zu unterschätzen ist, wenn es sehr stark voneinander abweichende Verhältnisse der Sonnenstrahlung anzeigen soll. In großen Umrissen werden die gesuchten Größen auf diese Weise sicherlich richtig abgeschätzt — ist das aber genügend für Unterschiede, wie sie der Arzt beachten will, wenn er Luftveränderung innerhalb seiner Landesgrenzen verordnet? Wie Hills Formeln und Resultate zu den von Bodmann und von Vincent schon im Jahre 1890 aufgestellten Formeln über die „Strenge“, von welchen oben die Rede war, stimmen, ist noch nicht untersucht. Nun hat Hill aber seine Bemühungen fortgesetzt, und die Firma W. Paul in London baut heute ein „Calemeter“ genanntes Instrument, welches auf einem zweifellos richtigen physikalischen Prinzip beruht: Ein Nickeldraht in Form einer kleinen Spule wird

¹⁾ Quaterly Journal of the Royal Meteorol. Soc., Vol. XLV, 191, 1919.

durch einen elektrischen Strom mittels eines automatischen Rheostaten auf der Temperatur des menschlichen Körpers erhalten; die Energie des hierzu nötigen Stromes ist das Maß für den Wärmeaustausch unter den herrschenden atmosphärischen Bedingungen. Registrierungsmöglichkeit ist vorhanden, ohne sie hätte das Instrument auch nicht genügend Zweck. Zwei Parallelinstrumente, eines mit trockener, eines mit feuchter Spule, wären zur vollständigen Lösung der Aufgabe nötig. Leider steht der teure Preis einer weiteren Verbreitung des Instrumentes im Wege.

Können diese Messungen die auf sie gesetzten Hoffnungen voll erfüllen? Wohl schwerlich. Die Gesamtwirkung zu kennen und in einem leicht verwendbaren Maß ausgedrückt zu erhalten, ist sicherlich sehr wertvoll, aber man wird der Zergliederung der Gesamtwirkung in die Einzelwirkungen nicht entraten können, insbesondere nicht, wenn es sich um die Hautfunktion handelt. Hier wird wohl zweckmäßig des von einem amerikanischen Pflanzenphysiologen [C. G. Bates¹⁾] konstruierten Verdunstungsmessers gedacht, welcher die Verhältnisse der inneren Zelle nachzuahmen und die Verdunstung dieser zu messen sucht. Das Prinzip seiner Meßart bezeichnet er sehr treffend, wenn er sagt, er wolle nur „the evaporation stress“ bestimmen. Er will also gar nicht physikalisch klar definierte Größen messen, sondern er sucht die Verhältnisse der Natur möglichst gut nachzuahmen und dann festzustellen, wie viel durch Verdunstung verloren geht. Er kommt da zu sehr wichtigen und wohl auch für die tierische Physiologie beachtenswerten Resultaten, noch wichtiger aber ist wohl das Prinzipielle seines Vorgehens, denn er weist u. a. nach, daß die Verdunstungszahlen, welche die Meteorologie auf gebräuchlichem Wege ermittelt, für seinen Spezialfall gar nicht zu treffen, da z. B. der Wind nicht wie bei Verdunstung freier Wasserflächen durch Mithilfe bei Losreißen der Molekeln wirkt, sondern ausschließlich durch seinen Einfluß auf die Temperatur.

Als Schluß dürfte folgende Gegenüberstellung interessieren: Der Arzt (Rubner) betont, daß sehr geringe Luftgeschwindigkeiten dem Körper Wärme entziehen, ohne daß dies zur Empfindung gelangt, ihm ist also das Empfindungsmaß nicht

¹⁾ Monthly Weather Review, Washington 1919, p. 284 ff.

genau genug — der an die peinlichsten Genauigkeitsgrade gewöhnte Meteorologe und Physiker (Kurt Wegener) dagegen redet der Messung des „Wärmegeföhls“ das Wort; danach hätten, da im gemäßigten Klima die physiologische Empfindlichkeitsschwelle für Temperaturänderungen etwa $\pm 2^{\circ}$ beträgt, nur Temperaturwechsel solcher Höhe ein Interesse. Wir sehen hier eine Brücke zwischen beiden Wissenschaften, welcher hoffentlich weitere folgen werden, wenn sich die Beziehungen zwischen der Medizin und der Meteorologie noch ausgedehnter entwickeln.

Bisher erschienene Hefte der „Sammlung Vieweg“.

- Heft 1. Dr. Robert Pohl und Dr. P. Pringsheim-Berlin: *Die lichtelektrischen Erscheinungen*. Mit 36 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 2. Dr. C. Freiherr von Girsewald-Berlin-Halensee: *Peroxyde und Persalze*. M. 2,40.
- Heft 3. Diplomingenieur Paul Béjeuhr-Charlottenburg: *Der Blériot-Flugapparat und seine Benutzung durch Pégoud vom Standpunkte des Ingenieurs*. Mit 26 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 4. Dr. Stanislaw Loria-Krakau: *Die Lichtbrechung in Gasen als physikalisches und chemisches Problem*. Mit 3 Abbildungen und 1 Tafel. M. 3,—.
- Heft 5. Professor Dr. A. Gockel-Freiburg i. d. Schweiz: *Die Radioaktivität von Boden und Quellen*. Mit 10 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 6. Ingenieur D. Sidersky-Paris: *Brennereifragen: Kontinuierliche Gärung der Rübensäfte. — Kontinuierliche Destillation und Rektifikation*. Mit 24 Abbildungen. M. 1,60.
- Heft 7. Hofrat Professor Dr. Ed. Donath und Dr. A. Gröger-Brünn: *Die flüssigen Brennstoffe, ihre Bedeutung und Beschaffung*. Mit 1 Abbildung. M. 2,—.
- Heft 8. Geh. Reg.-Rat Professor Dr. Max B. Weinstein-Berlin: *Kräfte und Spannungen. Das Gravitations- und Strahlenfeld*. M. 2,—.
- Heft 9/10. Geh. Reg.-Rat Professor Dr. O. Lummer-Breslau: *Verflüssigung der Kohle und Herstellung der Sonnentemperatur*. Mit 50 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 11. Dr. E. Przybyllok: *Polhöhen-Schwankungen*. Mit 8 Abbildungen. M. 1,60.
- Heft 12. Professor Dr. Albert Ooppel-Halle a. S.: *Gewebekulturen und Gewebepflege im Explantat*. Mit 32 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 13. Dr. Wilhelm Foerster-Berlin: *Kalenderwesen und Kalenderreform*. M. 1,60.
- Heft 14. Dr. O. Zoth-Graz: *Über die Natur der Mischfarben auf Grund der Undulationshypothese*. Mit 3 Textfiguren und 10 Kurventafeln. M. 2,80.
- Heft 15. Dr. Siegfried Valentiner-Clausthal: *Die Grundlagen der Quantentheorie in elementarer Darstellung*. Mit 8 Abbildungen. 2. erweiterte Auflage. 1919. M. 3,60.
- Heft 16. Dr. Siegfried Valentiner-Clausthal: *Anwendung der Quantenhypothese in der kinetischen Theorie der festen Körper und der Gase. In elementarer Darstellung*. 2. Auflage in Vorbereitung.
- Heft 17. Dr. Hans Witte-Wolfenbüttel: *Raum und Zeit im Lichte der neueren Physik*. Eine allgemeinverständliche Entwicklung des raumzeitlichen Relativitätsgedankens bis zum Relativitätsprinzip der Trägheitssysteme. Mit 18 Abbild. 3. Aufl. 1920. M. 2,80.
- Heft 18. Dr. Erich Hupka-Tsingtau: *Die Interferenz der Röntgenstrahlen*. Mit 33 Abbild. und 1 Doppeltafel in Lichtdruck. M. 2,60.
- Heft 19. Prof. Dr. Robert Kremann-Graz: *Die elektrolytische Darstellung von Legierungen aus wässrigen Lösungen*. Mit 20 Abbildungen. M. 2,40.
- Heft 20. Dr. Erik Liebreich-Berlin: *Rost und Rostschutz*. Mit 22 Abbildungen. M. 3,20.
- Heft 21. Prof. Dr. Bruno Glatzel-Berlin: *Elektrische Methoden der Momentphotographie*. Mit dem Bild des Verfassers und 51 Abbildungen. M. 3,60.
- Heft 22. Prof. Dr. med. et phil. Carl Oppenheimer: *Stoffwechsel-fermente*. M. 2,80.