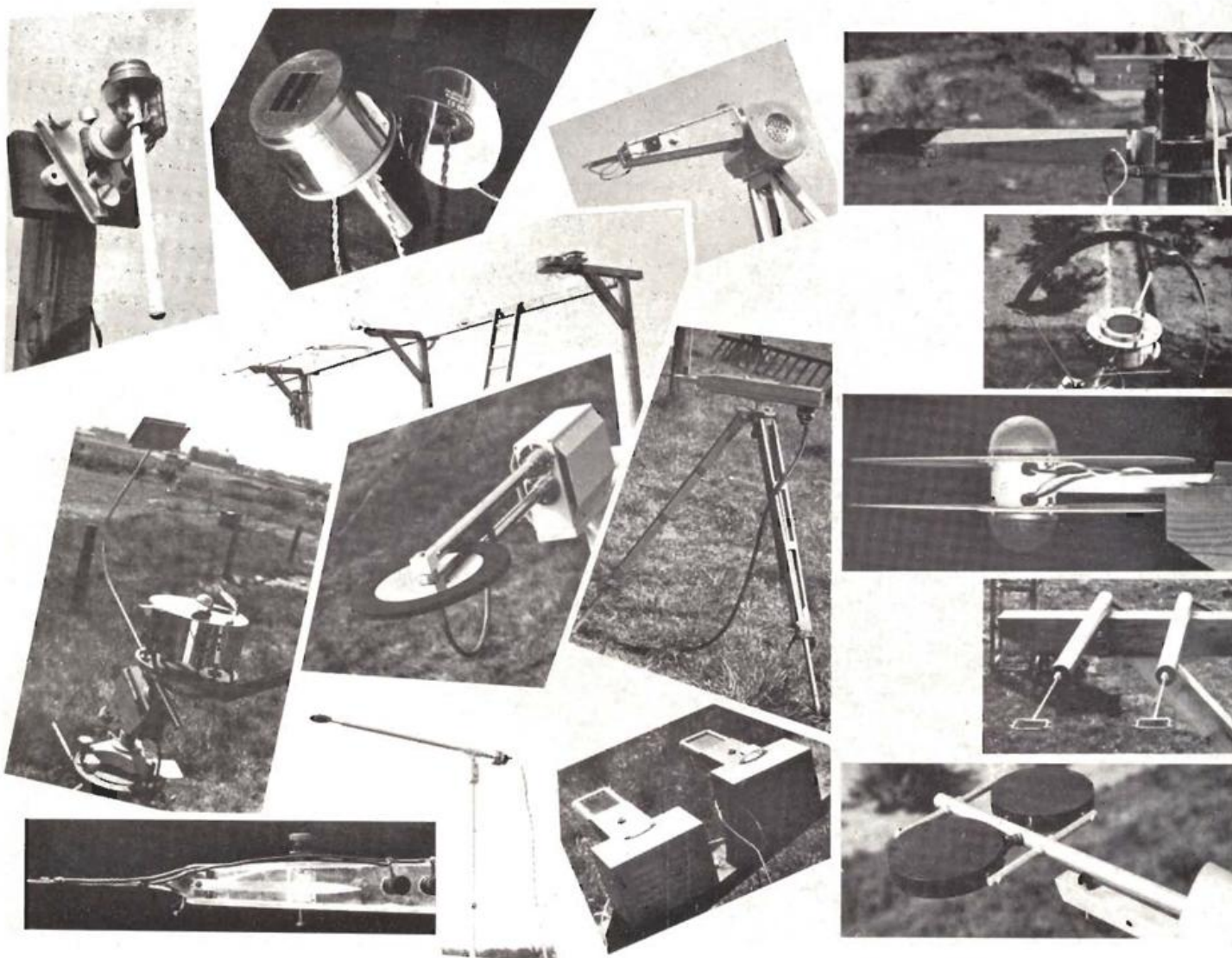


promet

2'73

meteorologische fortbildung

Geschichte der meteorologischen Strahlungsforschung



Herausgeber

Deutscher Wetterdienst

HauptschriftleiterA. Hofmann
6380 Bad Homburg
Theodor-Storm-Straße 35**Redaktionsausschuß**F. Defant (Kiel)
H.-W. Georgii (Frankfurt)
K. H. Hinkelmann (Mainz)
H. Hinzpeter (Mainz)
M. Schlegel (Offenbach)
W. Schramm (Neustadt/Weinstraße)
E. Stuhlweißburg (Fürstenfeldbruck)
E. Süssenberger (Offenbach)
F. Wippermann (Darmstadt)**Titelbild**

Strahlungsbilanzmesser (SBM) bei der Hamburger Vergleichung 1956. Linke Reihe, von oben: SBM Kew, IR-BM nach Kreitz, SBM nach Schulze, SBM nach Wagner, SBM nach Hofmann; 2. Reihe: SBM nach Sonntag, SBM nach Courvoisier, SBM nach Gier und Dunkle; 3. Reihe: Pyrgeometer nach K. Ångström, Gestänge zum Aufstellen der Geräte, SBM nach Skeib, SBM nach Schoen; rechte Reihe: Universalstrahlungsmesser nach J. Georgi, IR-Effektiv-Pyranometer nach H. Hinzpeter, SBM nach Suomi und Franssila.

(Photo und Montage H.-J. Bolle)

promet erscheint vierteljährlich im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes — Zentralamt — 6050 Offenbach (Main), Frankfurter Straße 135. Bezugspreis DM 20,— pro Jahrgang.

Für den Inhalt der Arbeiten sind die Autoren verantwortlich. Alle Rechte bleiben vorbehalten.

Druck: Schön & Wetzel GmbH, 6 Frankfurt, Offenbacher Landstraße 368

Thema des Heftes

F. MOLLER, München

Geschichte der meteorologischen Strahlungsforschung

Seite

Einzelabschnitte

1	Im Anfang war die Idee	1
2	Atmosphärische Optik	2
3	Das solare Klima	4
4	Messungen der Sonnenstrahlung	5
5	Schwächung der Sonnenstrahlung Streuung und Polarisierung	9
6	Terrestrische Strahlung und das Strahlungsgleichgewicht	14
7	Strahlungsbilanz	17
8	Biographische Notizen	19
9	Historische Literatur	22
Institute stellen sich vor		
	Die Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braunschweig des Deutschen Wetterdienstes	23
Zum Berufsbild des Meteorologen und Wetterberaters		
	Gutachter vor Gericht	25
Tagungen		
	Klimaschwankungen	27
	Distribution of Precipitation in Mountain Areas	28
Blick nach Draußen		
	Reise nach Israel	29
Aus dem Deutschen Wetterdienst		
	Automatische Fernschreibspeichervermittlung	30
Neue Instrumente und Methoden		
	Automatische Wetterstation des DWD	31
	Wichtige Neuerscheinungen	32
	Die Glosse	32

Thema dieses Heftes

F. MOLLER, München

Geschichte der meteorologischen Strahlungsforschung

Man kann die Entwicklung einer Wissenschaft nicht ohne ihre Geschichte verstehen, besonders wenn sie, wie die Meteorologie, noch in vollem Ausbau ist. Ausgehend von den Kern-Disziplinen Hydrodynamik und Thermodynamik erfaßt diese Entwicklung mehr und mehr auch die Strahlung. Es trifft sich gut, daß in dem 1972 erschienenen Buch von D. P. McIntyre: „Meteorological Challenges: A History“ ein Beitrag von F. Möller unter dem Titel: „Radiation in the Atmosphere“ zu finden ist, der den Zielen von „*promet*“ weitgehend entspricht. In dankenswerter Weise hat sich der Verfasser bereit erklärt, seinen in englischer Sprache erschienenen Originalaufsatz für „*promet*“ umzuarbeiten und zu erweitern unter Beibehaltung seines dort vertretenen Standpunktes, den er wie folgt fixiert:

„Die Geschichte hört im allgemeinen auf, Geschichte zu sein und geht in die Gegenwart über, wenn noch nicht 30 Jahre vergangen sind. So wird in diesen Aufsätzen nicht ein direkter Anschluß an die Wissenschaft der Gegenwart gesucht, sondern — von einigen Ausnahmen abgesehen — einige Zeit vor der Gegenwart mit der Darstellung aufgehört.“

Im Gegensatz zu den Themen der bisher erschienenen Hefte, die Kapitel für Kapitel studiert werden müssen, kann und sollte man die Kapitel des vorliegenden Themas in einem Zuge lesen. So erkennt man am besten die große Richtung, die schließlich einmündet in das wissenschaftliche und praktische Anliegen unserer Zeit, die numerische Vorhersage atmosphärischer Vorgänge, vielleicht gerade weil die Darstellung nicht in allen Einzelheiten den Anschluß an die Gegenwart sucht.

Eine historische Darstellung läuft aber nicht nur in die Gegenwart aus, sie hat auch einen oft im Dunkeln liegenden Anfang, und — um ein viel zitiertes Wort in unserem Sinne zu interpretieren — *Ἐν ἀρχῇ ἦν ὁ λόγος*:

1 Im Anfang war die Idee

Betrachtungen über die Geschichte einer Wissenschaft haben zum Ziel, auf die Ursprünge zurückzugehen und die nachfolgenden Entwicklungen aufzuzeigen. Besonders schwierig ist es oftmals, die ersten Anfänge einer Idee zu finden. Meteorologie ist eine angewandte Wissenschaft. Besonders in den Zweigen, die gern als Physikalische Meteorologie bezeichnet werden, wird weitgehend Gebrauch gemacht von Entdeckungen, Überlegungen, Instrumenten und Methoden, die schon vorher in Physik oder Astronomie eingeführt waren. Diese Methoden bieten sich von selbst auch für die Anwendung auf meteorologische Probleme an, lediglich aus Analogie und ohne irgend einen besonderen Anstoß. Die Geschichte des Studiums des meteorologischen Problems geht dann sehr weit zurück. Darf ich ein einfaches Beispiel erwähnen:

Physiker haben zuerst die *Polarisation* des Lichtes entdeckt. Es lag nahe zu untersuchen, ob auch das Licht von Sonne und Himmel polarisiert ist. Aus der Tatsache, daß das Himmelslicht Polarisation aufweist, entstanden Probleme, die durchaus spezifisch für die Atmosphäre sind und nichts mehr mit der reinen Physik zu tun haben. Aber der Anstoß dazu kam von der Physik.

Ein anderes Beispiel: Methoden, die in der Astrophysik für die Untersuchung von Sternatmosphären üblich sind, wurden später in die Meteorologie übernommen, besonders als Meßmethoden von künstlichen *Satelliten* aus. Möglicherweise hat der Wissenschaftler, der diese Anwendung machte, nichts über die astronomischen Methoden gewußt. Aber selbst wenn er sie kannte, muß doch die Übernahme von der Astrophysik in die Physik der Erdatmosphäre als ein schöpferischer Akt angesehen werden. Auf jeden Fall wird es in der Zukunft schwierig sein zu entscheiden, ob er etwas von der früheren Anwendung in einer anderen Wissenschaft gewußt hat oder nicht.

Gelegentlich weiß er es selbst nicht. Hietzu ein Beispiel aus meiner eigenen Erfahrung: Als junger Meteorologe machte ich 1934 einige Untersuchungen über Albert DEFANTs Konzeption eines großräumigen Horizontalaustauschs und versuchte horizontale Wärmeströme aus den Wind- und Temperaturmessungen von Lindenberg abzuleiten, empirische Arbeiten, wie sie später so erfolgreich durch STARR und WHITE oder durch BJERKNES und MINTZ durchgeführt wurden. Natürlich war mir Defants Originalarbeit gegenwärtig, aber ich

Die in Klammern () stehenden Ziffern beziehen sich auf die Biographischen Notizen des Abschnittes 8 auf Seite 19.

benutzte auch Gedankengänge, die wenige Jahre vorher durch HESSELBERG (57) in einer Untersuchung über die ausgeglichenen Bewegungen in der Atmosphäre und durch HERGESSELL (54) über die Anwendung von Mittelwerten in meteorologischen Gleichungen veröffentlicht worden waren. Als ich meine Arbeit schrieb, hatte ich diese Untersuchungen vergessen, aber ich hatte ihre Gedankengänge so vollständig aufgenommen, als hätte ich meine Überlegungen ganz selbständig gemacht. Erst einige Jahre später erinnerte ich mich, daß ich Hesselberg und Hergesell als Referenzen hätte angeben sollen. Es war bestimmt nicht böse Absicht, jedoch könnte vielleicht in Zukunft ein sehr gut belesener Historiker feststellen, daß in meinem Aufsatz Gedankengänge von zwei anderen Autoren enthalten sind, und daß deren Untersuchungen nicht zitiert wurden. Wir werden Beispiele dieser Art, wo aus Nachlässigkeit im Zitieren lang anhaltende Prioritätsstreitigkeiten entbrannten, kennenlernen. Ich erwähne diese Geschichte nur, um zu zeigen, wie schwierig es ist, nachträglich die Gedankengänge zu entwirren, wenn nicht einmal der Autor sich daran erinnert.

Die Ursache einer Entdeckung ist in vielen Fällen eine aufmerksame Beobachtung von Naturereignissen. Meteorologisches Arbeiten ist von physikalischem verschieden. Der Meteorologe muß warten, bis die Natur ihm Experimente vorführt, und nur wenige sind dann begnadet genug, das Besondere zu sehen und zu erkennen.

In anderen Fällen ist es einfach Neugierde, die Tricks der Natur zu erfassen oder einen Blick hinter den Vorhang zu werfen, der die Geheimnisse der Natur verbirgt. Neugierde ist ein starkes Antriebsmoment für die Wissenschaft.

Nur in seltenen Fällen ist aus der Literatur zu erkennen, wann jemand erstmalig von einem Gedanken gefangen genommen wurde. Warum der Autor sich mit der spezifischen Frage beschäftigte, kann nicht aus der Veröffent-

lichung entnommen, sondern bestenfalls zwischen den Zeilen gelesen werden. Eine andere Möglichkeit: Der Autor hat ein Problem als einen Nebengedanken zu seinen eigentlichen Ideen aufgestellt, aber er folgt der Frage nicht weiter. Jedoch die Idee ist in die Welt gesetzt, man wird aufmerksam, und Wissenschaftler an verschiedenen Orten, in verschiedenen Ländern sind von dem Problem gefesselt. Dadurch kommt es, daß scheinbar gleichzeitig und unabhängig voneinander dieselben Gedanken (weiter) entwickelt und in weit auseinanderliegenden Ländern dieselben Entdeckungen gemacht werden. Man sagt dann gern „die Zeit ist reif“, aber nicht die Zeit, sondern die Menschen, die Gedanken, die Gehirne sind bereit, Gedanken fortzuführen und weiter zu entwickeln, nachdem sie einmal Gestalt angenommen haben. Die Probleme werden in ähnlicher Weise untersucht, sogar wenn keine Mitteilungen, keine Veröffentlichungen einen Gedankenaustausch bringen. Während des zweiten Weltkrieges machten wir die Erfahrung, daß die Forschung die gleiche Richtung verfolgte in Ländern, die durch eine totale Blockade von Nachrichten getrennt waren. Nach 1945 waren wir erstaunt zu sehen, daß meteorologische Probleme wie die Entstehung fallenden Luftdruckes in wandernden Zyklonen, der Ursprung der Niederschläge, die Bestimmung der Sicht und der Lichtstreuung in Luft und Untersuchungen der damals noch unzugänglichen oberen Atmosphäre in der anglo-amerikanischen wissenschaftlichen Literatur in sehr ähnlicher Weise verfolgt worden waren wie in der deutschen, obwohl wir nichts voneinander wußten.

Wer die ersten Ideen entwickelt hat, kann oftmals nicht gesichert werden. Heutzutage gründet man Kommissionen, aber nicht immer kann man aus den Protokollen der Gründungssitzung entnehmen, wer zum ersten Male auf die Notwendigkeit etwas zu untersuchen hingewiesen hat, weil die Notwendigkeit den Gründern so gut bekannt ist, daß sie sie nicht für erwähnenswert halten.

2 Atmosphärische Optik

Die blaue Farbe des Himmels

Heute laufen Gedanken schnell durch die Welt und um die Welt. Das war nicht immer so. Als ein Beispiel möchte ich die Geschichte der Erklärung der blauen Farbe des Himmels anführen. Schon AL KINDI (6), mit dem Beinamen „der Philosoph der Araber“, hatte die Vorstellung, daß das Blau als eine Mischung erklärt werden müßte aus der Dunkelheit der Nacht und dem Licht von Staub- und Dunstteilchen in der Luft, die durch die Sonne leuchtend gemacht sind. Er glaubte nicht an eine Farbe der Luft, sondern machte die Sonne dafür verantwortlich. Auch LEONARDO DA VINCI (71), KEPLER (65) und sehr spät auch GOETHE (47) beschäftigten sich mit dem Problem im gleichen Sinne. Sie glaubten an die Entstehung einer blauen Mischfarbe aus dem Schwarz der Nacht und dem Weiß des Sonnenlich-

tes. Solche „Erklärungen“ sind natürlich weder physikalisch haltbar noch befriedigend insbesondere in einer Zeit, als wirkliche Erklärungen bereits verfügbar waren. FORBES (43) äußerte 1842 drastisch: „Noch später ward diese Lehre zur Schande der neueren Physik unter den chromatischen Grillen von Goethe wieder ins Leben gerufen“. Eine erste physikalische Erklärung gab NEWTON (84) 100 Jahre vor Goethe. Er hatte die Erscheinung der Newton'schen Ringe und der damit verbundenen Entstehung von Farben beobachtet und mittels der Emanationstheorie gedeutet. Er glaubte aus Analogiegründen, daß sehr kleine Tröpfchen in der Luft die gleiche blaue Farbe, „das primäre Blau“, hervorrufen könnten wie bei den Ringen. Diese Lehre blieb erstaunlich lange am Leben. Erst 175 Jahre später zeigte CLAUDIUS (31),

daß Sterne durch eine solche Wolke Newton'scher Tröpfchen nicht mehr klar zu sehen sein würden, sondern nur als verwaschene Scheibchen, und daß nur Bläschen die geforderte Eigenschaft haben könnten. Auch diese Annahme war falsch.

Ein deutsch-österreichischer Physiker und Physiologe, Ernst von BRÜCKE (23), veröffentlichte 1852 eine Untersuchung über die *Farbe trüber Medien* im auffallenden und durchgehenden Licht. Er hatte gefunden, daß manche Farbwechsel des Chamäleons durch die Überlagerung eines flüssigen trüben Mediums über eine dunkle Haut entstehen. Er definierte ein trübes Medium als Gemenge zweier oder mehrerer Medien mit verschiedenen Brechungsindices, wobei die einzelnen Teilchen so klein sind, daß sie nicht direkt gesehen werden können. Seine Deutung benutzte die damals bekannte Undulationstheorie des Äthers und erklärte, warum kleine Teilchen ein blaues, größere Teilchen ein weißlicheres Streulicht hervorrufen. Er wies auf alle diese Erscheinungen auch in gasförmigen Medien hin und erklärte die blaue Farbe des Himmels, die gleiche Färbung der Fernsicht, die Rotfärbung der auf- und untergehenden Sonne usw. Hier lag somit erstmalig eine physikalisch brauchbare Theorie vor. Sie blieb außerhalb des Fachkreises merkwürdigerweise unbekannt. Niemand spricht heute von Brücke'schem Streulicht, sondern der Begriff Tyndall'sches Streulicht hat sich allgemein durchgesetzt. 17 Jahre nach BRÜCKE (1869) ergänzte TYNDALL (110) die Untersuchungen durch seine berühmten und umfassenden Studien an schwebenden Teilchen in Gasen und bestätigte sie experimentell. Er bestätigte auch die Entdeckungen von GOVI (49) von 1860, daß mit der *Streuung* an Aerosol eine *Polarisation* des Lichtes verbunden ist.

Zwei Jahre nach Tyndalls Publikation erschien 1871 die erste Publikation von J. W. STRUTT (später Lord RAYLEIGH (89)) über dieses Thema. Rayleigh und Tyndall standen miteinander in Briefwechsel und sicher war es Rayleighs Absicht, die Tyndall'schen Experimente theoretisch zu festigen. So ist auch in dieser ersten Veröffentlichung noch die Rede von Plättchen oder Bläschen, die in der Luft schweben, und ihren streuenden Eigenschaften. Er bewies durch eine Dimensionsbetrachtung, daß deren Streuung proportional λ^{-2} sein mußte. Wenn die Streuung dagegen an kleinen Partikeln erfolgt, muß sich nach Rayleighs Rechnungen ein λ^{-4} -Gesetz der Streuung ergeben, wenn nur der Radius klein gegen die Wellenlänge ist. Zunächst stützte sich Rayleigh auch auf die Äthertheorie des Lichtes. In einer zweiten Arbeit wandte er 1881 die Maxwell'schen Gleichungen an, und schließlich stellte er 1899 fest, daß nicht Partikel, sondern die Luftmoleküle selbst die streuenden Teilchen sind. SMOLUCHOWSKI (101) hat 1908 und EINSTEIN (40) 1910 gezeigt, daß eine Voraussetzung, die von Rayleigh in seinen Ableitungen gemacht worden war, eine besondere Deutung erfahren kann. Es mußte angenommen werden, daß die streuenden Teilchen unregelmäßig verteilt sind, weil bei einer irgendwie regelmäßigen Anordnung die gestreuten Wellen sich gegenseitig beeinflussen würden, wie das in einem Kristall der Fall ist. Die Voraussetzung bedeutet also, daß Dichteschwankungen statistischer Art auftreten, ohne deren Vorhandensein

die „opaleszente“ Streuung, oder wie man damals gelegentlich schon sagte, die Rayleighstreuung nicht auftreten würde.

Immerhin bedurfte es von der ersten Formulierung des Problems durch Al Kindi (Todesjahr 870) bis zur ersten physikalisch befriedigenden Theorie Rayleighs einer Zeit von 1001 Jahren. Heute erfolgt im allgemeinen die Entwicklung von der ersten Problemstellung bis zur physikalischen Erklärung sehr viel schneller. Bei der Erklärung der blauen Farbe des Himmels ist es uns rückschauend noch möglich, die Hauptstationen der Erforschung festzustellen. In der modernen Zeit gelingt dies immer weniger leicht.

Der Regenbogen

Die Optik der Atmosphäre als Teilgebiet der Strahlung war schon sehr frühzeitig Gegenstand meteorologischer Theorien, einmal weil Regenbögen, Halos, Kränze u.a. auffällige Erscheinungen am Himmel sind, zum anderen weil sie zu mathematischen Rechnungen reizen. Die ersten theoretisch richtigen Überlegungen sind merkwürdigerweise gleichzeitig an zwei sehr weit voneinander entfernten Orten und sogar in zwei verschiedenen Kulturkreisen entstanden. Das geschah einmal durch Dietrich von Freiberg (THEODORICUS TEUTONICUS (107)), der zwischen 1304 und 1310 eine Beschreibung des Strahlenganges in einem Tropfen, sowohl für den Hauptwie für den Nebenregenbogen aufgestellt hat. Zum anderen waren es zwischen 1302 und 1311 zwei Forscher des arabischen Kulturkreises, deren Originalbeiträge nicht mehr zu trennen sind, weil nur eine Schrift existiert. Wahrscheinlich wurden nie zwei getrennte Papiere geschrieben. Als die beiden Autoren müssen wir betrachten KAMAL al DIN al FARISI (64) und KOTB al DIN al SCHIRASI (67). Beide waren Perser. Das Werk wird meist Kamâl al Din al Fârisî zugeschrieben. Er und Dietrich haben erkannt und durch Skizzen aufgezeigt, wie ein auf einen Tropfen auftreffender Strahl beim Eintritt gebrochen, an der Innenwand des Tropfens ein- oder zweimal gespiegelt und beim Austritt wieder gebrochen wird (Abb. 2.1). Dietrich gibt darüber hinaus eine sorgfältige Analyse der Beteiligung vieler Tropfen an der Entstehung des Regenbogens, indem er zeigt, daß z. B. das Auge die rote Farbe in einem anderen Tropfen sieht als die violette. Ohne eine Regenwand, in der sich unzählige Tropfen befinden, würde das Auge nie die geschlossene Form eines kreisförmigen farbigen Bogens erkennen. Damit besitzen wir zwei, der Erklärung von Descartes, die wir heute in jedem Schullehrbuch der Physik nachlesen können, durchaus gleichwertige Darstellungen, aber 300 Jahre vor DESCARTES (34). Dessen Arbeiten sind experimentell und geometrisch-theoretisch sehr viel sorgfältiger durchgeführt als die früheren Untersuchungen. NEWTON (84) gab dann mit der Erklärung der Zerlegung in Farben bei der *Brechung* des weißen Sonnenlichtes auch die Erklärung der Farbfolge. Nach dieser Erklärung durch Newton fehlte der Theorie noch ein wichtiges Glied, nämlich die Deutung der überzähligen Bögen an der Innenseite des Hauptregenbogens und die unterschiedliche Farbfolge. Beide Erscheinungen wurden zunächst durch YOUNG (113), später korrekter

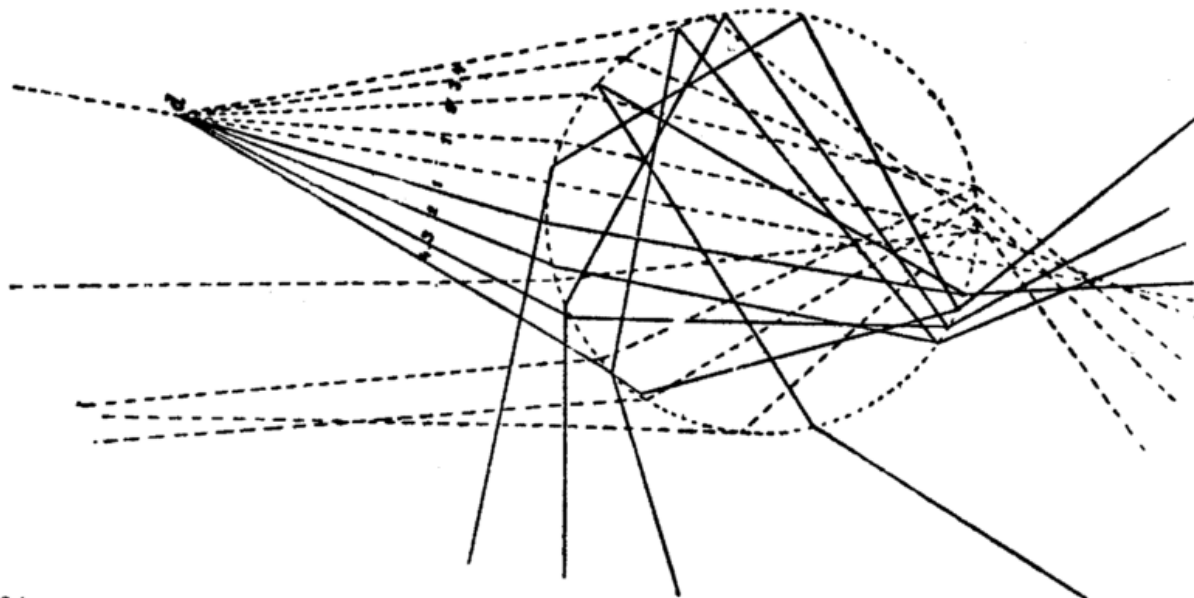


Abb. 2.1

Der Strahlengang im Regentropfen nach Kamäl al Dīn zur Erklärung des Haupt- und Nebenregenbogens. (Die Lichtquelle ist — fälschlich — im Endlichen angenommen.) Nach E. Wiedemann, Über das Sehen durch eine Kugel bei den Arabern. Wied. Annalen 39, 574 (1890).

durch AIRY (3) erklärt. Schließlich haben MIE (79) und DEBYE (33) die Entstehung des Regenbogens mit Hilfe der Maxwell'schen Gleichungen erklärt. Explizite Berechnungen sind von BUCERIUS (25) und von BUCHWALD (26) durchgeführt worden. Die Regenbogentheorie gibt ein schönes Beispiel für das Bestreben des Menschen, alle beobachteten Naturerscheinungen physika-

lisch zu erklären, also ein Beispiel für die reine, nicht zweckgebundene Naturforschung. Aber uns Meteorologen befriedigt es nicht, nur für solche Phänomene eine mathematische oder physikalische Erklärung zu haben, weil es nur Schmuckstücke des Himmels sind und mit der Energie der Umsetzungen oder der Wetterkunde kaum etwas zu tun haben.

3 Das solare Klima

Unser heutiges Interesse an der Strahlung beruht auf ihrer Bedeutung als *Quelle* oder *Senke* für *Energietransformationen* in der Lufthülle. Solche Betrachtungen spielten schon sehr frühzeitig eine Rolle, aber Begriffe wie Wärmebilanz, Gewinn, Verlust oder Übertragung von Energie, die heute sehr wichtig sind, waren in früheren Zeiten mehr oder weniger unbekannt. HALLEY (52) und HADLEY (51) hatten das Zirkulationsschema aus den meridionalen Unterschieden der Einstrahlung abgeleitet. Man hatte jedoch noch nicht verstanden, daß diese Zirkulationen wiederum die Temperaturverteilung beeinflussen. Daher bemühten sich die Wissenschaftler, die horizontale Temperaturverteilung von der Geometrie der Einstrahlung abzuleiten. Aber die Kenntnisse der Klimatologie der Temperatur waren ebenfalls noch sehr beschränkt. Die astronomischen Gesetze waren gut bekannt. Die Rotation der Erde, ihr Umlauf um die Sonne, die Veränderung der Konstanten des Umlaufs im Laufe der Jahrtausende, wie etwa die Veränderung der Ex-

zentrität und der Schiefe der Ekliptik waren längst bekannt und berechnet, bevor MILANKOWITSCH (80) sie zu einem geschlossenen Bild der astronomischen Klimaschwankungen zusammengefügt hat. Man betrachtete damals die Temperaturverteilung auf der Erde mehr als ein mathematisches und weniger als ein physikalisches Problem. BOUGUER (21) und LAMBERT (69) kannten zwar bereits das *Extinktionsgesetz* in der Atmosphäre, aber die Extinktionskonstanten blieben noch für über ein Jahrhundert unbekannt. In den meteorologischen Lehrbüchern wurden noch bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts fast ausschließlich Untersuchungen über die Bestrahlungsgeometrie zitiert. E. E. SCHMIDT (94) erwähnte in seinem Lehrbuch der Meteorologie von 1860 vor allem

HALLEY, E. (52): A discourse concerning the proportional heat of the sun in all latitudes. Philos. Transactions 17 (1693)

LAMBERT, J. H. (69): Pyrometrie (1779)

und als jüngst erschienenes modernstes Werk:

MEECH, L. (76): On the relative intensity of the heat and light of the sun. Smithsonian Contributions to Knowledge 9 (1856)

Man muß bedenken, daß die Zeit vor der französischen Revolution eine mathematische Ära war. Die vornehmen Damen unterhielten sich bei ihrem Fünf-Uhr-Tee über mathematische Probleme und gaben sich mathe-

matische Rätsel auf, wie sie sich heutzutage über die Frühjahrsmode und die neueste Schlankheitsdiät unterhalten. Es ist verständlich, daß in einer solchen Zeit die Menschen auch ein solares Klima berechneten und die wenigen bekannten Daten irgendwie in das mathematische Schema einpaßten. So darf man nicht überrascht sein, daß Tobias MAYER (75) auf der Grundlage einer solchen Theorie und mit den wenigen ihm zugänglichen Daten die Temperaturen an den damals noch gänzlich unzugänglichen Erdpolen auf $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ schätzte.

4 Messungen der Sonnenstrahlung

Erst als Alexander von HUMBOLDT (60) 1817 die erste noch sehr rohe Weltkarte der mittleren Jahresisothermen gezeichnet hatte, war eine Grundlage für das wirkliche Klima gegeben, im Gegensatz zu dem fiktiven solaren Klima, und die Theorie mußte nun an die neuen Tatsachen angepaßt werden. Die wichtigste Aufgabe der Strahlungsforschung war es nun nicht mehr, die Verteilung der extraterrestrischen Strahlung mathematisch darzustellen, sondern physikalische Beobachtungen und Messungen der Naturvorgänge herbeizuschaffen. Zu allererst mußten Instrumente entwickelt werden, um die Strahlung zu messen. Dabei ist es überraschend zu sehen, daß noch 1860 Temperaturen als Strahlungsmaß verwendet wurden, nicht Kalorien, oder daß die Wirkung der Strahlung von Fall zu Fall mühsam umschrieben wurde durch die Schicht von Eis, die innerhalb einer gewissen Zeit geschmolzen werden konnte. Auch mußte endlich festgestellt werden, welcher Art die Kompensation für die variable Einstrahlung war. Als wichtigste Größe erschien immer wieder die Wärmespeicherung im Erdboden, der man alle Kompensationswirkungen zuschrieb. Die Rolle der *langwelligen Strahlung* war gänzlich unbekannt, ja dieser Begriff selbst war gerade erst aufgetaucht, und seine Wirkung in der Atmosphäre war überhaupt unbekannt. Das zu erkennen dauerte noch etwa 100 Jahre.

Die Aufgabe, die am *Boden ankommende Sonnenstrahlung* zu messen, war schwierig genug. Auf der ersten Konferenz der meteorologischen Dienste und Observatorien 1891 in München war man sich zwar klar über die große Wichtigkeit der Sonnenstrahlung. Indessen waren die Meßverfahren so stark physikalisch und verschieden von den üblichen der Messung der Temperatur, Luftdruck, Wind, daß man fühlte, man müßte hier etwas besonderes tun. Außer acht lassen konnte man die Strahlung nicht. Jedoch kam man zu der Überzeugung, daß, „obwohl große Fortschritte bezüglich der aktinometrischen Bestimmungen gemacht worden waren, noch keine Beobachtungsmethode vorgeschlagen worden war, die für die allgemeine Annahme empfohlen werden konnte“.

Die Frage blieb offen. Jedoch wurde auf der zweiten Konferenz 1896 in Paris eine „Kommission für Strahlung und Insolation“ (darunter verstand man Sonnenscheinmessungen etwa mit dem Gerät von CAMPBELL (29) und STOKES (103)) gegründet mit VIOLLE (111) als Präsident. Offenbar war es Violles Arbeitsstil, lange Berichte zu verfassen, aber nicht Sitzungen abzuhalten, auf denen man diskutieren mußte. So fand die erste Sitzung der Kommission erst nach einer Reorganisation durch das Internationale Meteorologische Komitee 16 Jahre nach der Gründung unter dem dritten Präsidenten statt. 1936 gliederte sich die Kommission alle Mitglieder der Strahlungskommission der 1919 gegründeten Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik an, und die eigenen Mitglieder wurden in diese IUGG-Kommission aufgenommen, so daß die beiden Kommissionen identische Mitgliedschaften hatten. In dieser Form verblieben sie als eine gemeinsame Kommission der IMO und der IUGG bis 1946. Die Strahlungskommission der IUGG wurde 1948 neu gegründet, während die Kommission der IMO in der CIMO als eine Subkommission aufging.

Auf der Sitzung des Internationalen Meteorologischen Komitees 1899 in St. Petersburg legte Violle einen umfangreichen Bericht über die Strahlung vor, in dem er vor allem die vorhandenen Instrumente beschrieb. Dadurch haben wir eine sehr wertvolle Übersicht über die instrumentelle Entwicklung seit dem 18. Jahrhundert. Violle konnte seinen Bericht zu einem großen Teil auf eine hervorragende Untersuchung von CHWOLSON (30) stützen, die dieser ausgezeichnete Physiker 1891 für WILDS Repertorium für Meteorologie geschrieben hatte. Er studierte darin alle ihm bekannten Instrumente in einer theoretisch und experimentell sehr kritischen Weise. Dieser Aufsatz kann auch heute noch mit Interesse gelesen werden, mit Nutzen und gelegentlich auch mit Vergnügen, wenn der Verfasser mit den Konstrukteuren zu Gericht zieht, weil diese anstatt sauberer Berechnungen der Fehlerquellen nur vage Abschätzungen gegeben hatten.

Die Instrumente, über die Violle und Chwolson berichteten, waren die folgenden: Eines der allerältesten ist das *Verdampfungs-Luzimeter* des Mönches BELLANI (19) aus dem Jahre 1834. Es enthielt eine reine Glaskugel und hinter einer schützenden Glasglocke eine geschwärzte Glaskugel, aus der bei Erwärmung durch die Sonne Alkohol in die andere Kugel hinüberverdampfen konnte (Abb. 4.1). Das Meßprinzip verwendet alle auf-



Abb. 4.1
Destillations-Luzimeter von Bellani in der ursprünglichen Form von 1834. A geschwärzte Kugel, B klare Kugel, C Flüssigkeitsstandglas. Nach *Annuaire Observ. Montsouris* 1888, S. 206.

fallende Energie zu einer physikalischen Änderung des Aggregatzustandes und könnte bei einigen Verbesserungen zu einem Absolutinstrument geeignet sein. (Als Absolutinstrumente bezeichnen wir solche, die die Anzeige auf die physikalischen Grundmeßprinzipien für Länge, Masse, Zeit und elektrischen Strom zurückzuführen erlaubt. Nach Vorschlag von CROVA (32) werden solche Strahlungsmessgeräte als *Pyrheliometer*, Relativgeräte als *Aktinometer* bezeichnet. Dieser Benennungsgrundsatz ist jedoch mehrfach durchbrochen worden.)

Zwei Mängel besitzt der „Bellani“: Die Strahlung wird durch eine Glashülle aufgenommen, die die infrarote Strahlung weitgehend absorbiert. Daher ist das Gerät kein Strahlungs- sondern genauer ein Lichtmessgerät. Dann hat er die Kugel als Empfänger, die von der Mitte des vergangenen Jahrhunderts ab mehr und mehr durch die besser definierte ebene Platte ersetzt worden ist. Er mißt die gern als Zirkumglobalstrahlung bezeichnete Größe, also die aus dem vollen Raum (4π) kommende Strahlung bzw. das Licht. Dadurch ist das Instrument heute kaum noch mit anderen Instrumenten vergleichbar. COURVOISIER vom Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos hat in unseren Tagen das Gerät von Bellani wesentlich geändert, verbessert und gut physikalisch durchkonstruiert. Mit den Resten einer Konstruktion von ARAGO (10) hat MARIE-DAVY (73) 1870 ein Aktinometer angegeben, das aus zwei Thermometern, einem geschwärzten und einem ungeschwärzten, besteht, die in luftleeren Glasvolumina untergebracht sind. Auch bei diesem Gerät hält die Glashülle die infrarote Strahlung ab, so daß im wesentlichen die Lichteinwirkung gemessen wird. Auch ist die Differenz

dieser Temperaturen nicht ein Maß für die Strahlung, weil die Bezugstemperatur keineswegs die Lufttemperatur ist, wiederum wegen der Einhüllung in eine Glaskugel. Das Instrument wurde jedoch vom Meteorologischen Observatorium Montsouris bei Paris für ein kleines Meßnetz eingesetzt, in dem jahrelange Beobachtungen gesammelt wurden. Es war wahrscheinlich das erste Strahlungsmessnetz überhaupt. Der Wert dieser Beobachtungen ist allerdings recht fraglich. ALBRECHT (4) hat dieses Instrument wesentlich verbessert, indem er die Thermometer mit einer horizontalen, nach oben gerichteten Fläche ausstattete und anstatt eines ungeschwärzten ein mit einer bestimmten Graufarbe überzogenes Thermometer einbaute. Auch diese Maßnahme hat jedoch nicht zu einem verstärkten Einsatz in der meteorologischen Beobachtungspraxis führen können.

Nicht ein statisches Meßprinzip mit einer einmaligen Ablesung, sondern eines, mit dem abwechselnd Erwärmungen und — bei Schutz vor Strahlung — Abkühlungen gemessen wurden, und das man folglich als dynamisches Prinzip bezeichnen muß, hat John HERSCHEL (56) 1825 angegeben. Das Thermometer, das er verwendete, war jedoch sehr unzuverlässig.

Der erste, der von der Verwendung von Kugelthermometern als Auffangflächen der Strahlung abging, war POUILLET (87) 1838. Der Meßkörper seines Pyrheliometers war ein flaches zylinderförmiges Silbergefäß mit einem Inhalt von 100 cm^3 Wasser. Die der Sonne zugewandte Grundfläche war geschwärzt. Anstatt nur die Sonnenstrahlung aufzufangen, hatte das Gerät einen Öffnungswinkel von 2π . Es war ungeschützt und damit allen Einflüssen des Windes ausgesetzt, die uns von Pyranometern her unliebsam bekannt sind. Im Wasser befand sich die Kugel eines Thermometers zur Messung der Erwärmung. Ein Stagnieren des Wassers versuchte er — unvollkommen — durch Rotation der Scheibe zu verhindern. Auch er verwendete ein dynamisches Ableseprinzip mit abwechselnder Erwärmung durch Strahlung und Abkühlung gegen die Umgebung. CROVA (32) gab einen anderen Ableserhythmus an, jedoch war die allgemeine Beurteilung der Messungen nach Pouillet Methode wesentlich besser als nach Crovas. Dieser gab auch eine Abwandlung des Gerätes, indem er die Aufgangskapsel aus Eisen mit Quecksilberfüllung machte.

VIOLLE (111) gab 1874 ebenfalls ein *Absolutpyrheliometer* an, das wieder die geschwärzte Glaskugel eines Thermometers als Empfänger benutzte. Sie befand sich innerhalb einer Doppelkugel, die mit Wasser oder Eis gefüllt war. Die Strahlung fiel durch ein Rohr mit auswechselbarer Blende auf den Meßkörper (Abb. 4.2). Damit war die Temperatur des Körpers, gegen den die Abkühlung erfolgte, bekannt, ein nicht zu unterschätzender Vorteil. Jedoch dauerte eine vollständige Messung 30 bis 40 Minuten, viel zu lange für eine verlässliche Sonnenstrahlungsmessung. LANGLEY (70) gab eine musterhafte Kritik des Instrumentes und stellte die Notwendigkeit von nicht weniger als 6 Korrekturen fest. Das Aktinometer von CROVA (32) bestand vor allem aus einem geschwärzten Alkoholthermometer mit einem in der Kapillare befindlichen Quecksilberindex. Die Sonnenstrahlung fiel durch eine enge Bohrung in einer

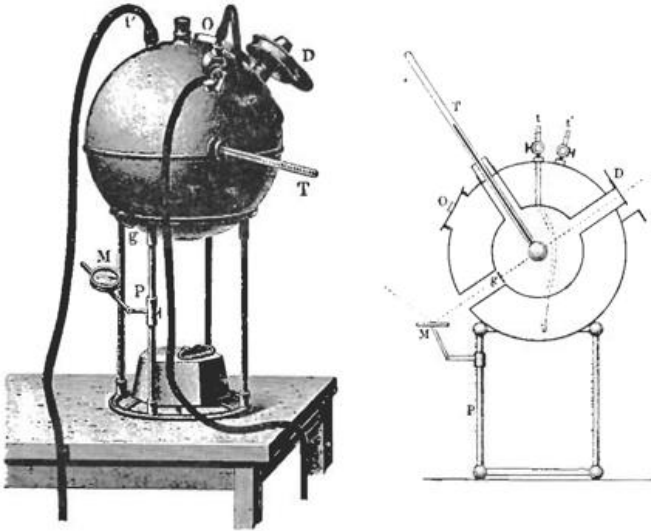


Abb. 4.2
Pyrheliometer von Violle, links Ansicht, rechts Schnitt. Nach O. D. Chwolson, Die Lehre von der strahlenden Energie, 2. Auflage, Braunschweig 1922, S. 472.

dicken Hohlkugel aus Messing auf den Meßkörper, so daß nur ein enges Strahlbündel auf die Kugeloberfläche des Thermometers gelangte. Dieses war nach einem sorgfältigen Verfahren mit Platinschwarz und mehreren Schichten von Ruß bedeckt. Das Instrument mußte geeicht werden und kann daher nicht als Absolutinstrument angesehen werden. Jedoch hat Crova 1898 auch ein Gerät angegeben, das als Absolutpyrheliometer angesehen wurde.

Durch den Übergang zur ebenen Auffangfläche, die sorgfältige Schwärzung, die Definition und Konstanthaltung der Umgebungstemperatur, die Blenden vor dem Eintritt usw. waren im Laufe der Jahre deutliche Verbesserungen gemacht worden. Eine neue Entwicklung bahnte sich mit dem *Differentialpyrheliometer* von Knut ÅNGSTRÖM (9) von 1885 an. Er verwendete zwei geschwärmte Kupferscheiben, deren Temperaturdifferenz durch ein Thermoelement bestimmt wurde. Abwechselnd war eine der beiden Scheiben bedeckt oder von der Sonne beschienen. Eine Scheibe war von der vorherigen Bestrahlung wärmer, die andere wurde nun durch Sonnenbestrahlung erwärmt, bis die Temperaturdifferenz sich umkehrte. Dann wurde die Abschirmung wieder umgekehrt usw. Damit war zum ersten Male das *Kompensationsprinzip* zweier möglichst identischer Meßkörper eingeführt. Das Instrument wurde für sehr gut erklärt und für geeignet zu Absolutmessungen. Es fand eine Verbesserung durch CHWOLSON 1892.

Schließlich wurde die Serie der Konstruktionen abgeschlossen durch das *Kompensationspyrheliometer* von K. ÅNGSTRÖM 1893. Es ist das bekannte, heute noch international als Substandard gebrauchte Instrument. Der Meßteil besteht aus zwei kleinen Platinbändern von 1–2 μm Dicke, die abwechselnd von der Sonne bestrahlt oder durch einen elektrischen Strom erwärmt werden, bis die Temperaturen gleich sind. Die Sonnenstrahlung ist dann gleich der Energie des elektrischen Stromes, der die nicht bestrahlte Fläche heizt. Es veranlaßt uns zu hoher Bewunderung für die physikalisch exakte Denk-

weise und den schöpferischen Geist von K. Ångström, daß sein Instrument über eine so lange Zeit benutzt worden ist. Auch heute noch ist es eines der besten Instrumente und liefert als Absolutinstrument immer noch bessere Ergebnisse als moderne Relativinstrumente wie das *Panzeraktinometer* von LINKE (72) und FEUSSNER oder das *Bimetallaktinometer* von MICHELSON (78).

Warum wurde die Strahlungskommission damals gegründet? Neben dem oben Gesagten gibt der zweite Teil von Violles Memorandum einige Hinweise. Er spricht von den Möglichkeiten, aus Messungen an der Erdoberfläche die extraterrestrische Sonnenstrahlung zu bestimmen, eine Größe, der POUILLET (87) schon im Jahre 1837 den Namen Solarkonstante gegeben hatte. Er hatte für die Beziehungen der gemessenen Beträge untereinander eine Interpolationsformel aufgestellt, die die Form einer Potenzformel hatte. Die Größe vor der Potenz nannte er die solare Konstante, die Größe, in deren Exponent die Weglänge in der Atmosphäre stand, nannte er die atmosphärische Konstante. Das erste Wort ist als *Solarkonstante* geblieben. Das Gesetz von BOUGUER (21) und LAMBERT (69) war bereits gut bekannt. Daß es nur monochromatisch streng gültig ist, war noch nicht erkannt worden. Dies geschah erst 1852 durch Untersuchungen von BEER (18), weshalb es — unter Widerspruch gegen alle Priorität — manchmal auch das Beersche Gesetz genannt wird. Da es für die polychromatische Strahlung der Sonne nicht anwendbar war, versuchte man die verschiedensten Inter- und Extrapolationsformeln. Nicht weniger als 9 verschiedene Formeln wurden ausprobiert. Indessen zweifelte Violle selbst an der Richtigkeit der Ergebnisse, die Werte der Solarkonstante zwischen 1.5 und 4.5 $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ lieferten. Er selbst tendierte mehr zu den größeren Werten, wie auch LANGLEY um 1900 noch einen Wert von 3.0 $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ für den besten hielt.

Bereits auf der Petersburger Tagung hatte J. von HANN (53) eine kurze Notiz in das Protokoll gebracht, daß zahlreiche (absolute) Messungen in verschiedenen Klimaten und verschiedenen Breiten für eine bessere Kenntnis des Wärmehaushaltes benötigt würden, womit er sich als ein erstaunlich weitsichtiger Wissenschaftler erwies. Männer wie Violle glaubten dagegen, aus den Messungen Schwankungen der Solarkonstante und Schwankungen in der Strahlungsdurchlässigkeit des interplanetaren Raumes finden zu können. Sie glaubten dies nicht nur, sondern sie sahen in dieser Aufgabe auch das eigentliche Ziel der Messungen.

Noch ein Grund könnte eine Rolle bei der Gründung der Strahlungskommission gespielt haben. Zwar gab es noch keine klare Konzeption für den Weg, auf dem Strahlungsprozesse für die Bildung potentieller Energie verantwortlich sein könnten, jedoch hielt man Messungen jeder Art für notwendig, darunter auch Strahlungsmessungen. Die Meteorologen fühlten sich verantwortlich für alle Messungen der Erde und ihrer Atmosphäre. Auch war noch keine klare Trennung zwischen der Physik der festen Erde und ihrer Atmosphäre erreicht. In diesem Sinne darf man sich nicht wundern, daß auf der Sitzung 1896 in Paris durch die Internationale Meteorologische Organisation auch eine Kommission für Erdmagnetis-

mus und Luftelektrizität gegründet wurde und 1899 eine Empfehlung angenommen wurde, die Meteorologischen Institute sollten für seismologische Beobachtungen Beiträge liefern. Man lebte noch in der Ära der empirischen Erforschung der Natur, wo alles Beobachtbare auch beobachtet wurde. Die Meteorologen hatten als einzige Geophysiker eine internationale Organisation, die sich für die Messung geophysikalischer Größen verpflichtet fühlte. Die Erklärung durch physikalische Prozesse hatte schon begonnen, aber — wenn wir bei der Strahlung bleiben — ihre Rolle in der Entwicklung des Wetters wurde mehr geahnt als verstanden. Das zeigt sich auch darin, daß man vornehmlich die Strahlung auf die senkrechte Fläche und nicht die meteorologisch wichtigere auf die Horizontale untersuchte.

Die Absolutpyrheliometrie beherrschte für eine lange Zeit das Feld. In der Smithsonian Institution waren zwei Absolut-Instrumente konstruiert worden, das *water-flow-* und das *water-stir-Pyrheliometer*. Nach Eichung einiger *silver disc-Aktinometer* hatte man sie wieder vernichtet. Daneben erlaubte das Ångström-Kompensations-Pyrheliometer ebenfalls absolute Messungen. Trotz verschiedener Prüfungen und auch Entdeckung einiger Fehlerquellen blieb eine Differenz zwischen den beiden „Skalen“. So folgten dann viele eifrige Studien zur Absolutpyrheliometrie. Diese waren zum Teil durch ein Mißverständnis entstanden. Auf der Sitzung des Internationalen Meteorologischen Komitees 1905 in Innsbruck war ein Beschluß gefaßt worden, daß alle Zentralobservatorien um die Mittagszeit Messungen der Sonnenstrahlung durchführen sollten und zwar ausschließlich mit dem Kompensationspyrheliometer nach Ångström. Dann waren 1905 und 1911 die beiden amerikanischen Absolut-Pyrheliometer konstruiert worden und im Anschluß daran das Silverdisc-Aktinometer als Sekundärgerät. Es war zwar immer wieder auf den Unterschied der Messungen mit den nach Ångström und den nach Smithsonian geeichten Instrumenten hingewiesen worden, aber ein formell dem Innsbrucker Beschluß entgegenstehender weiterer Beschluß war nie gefaßt worden. Gerade dies war aber lange Zeit die Ansicht vieler Meteorologen, daß zwei einander widersprechende formelle Beschlüsse vorlägen. So kam es, daß in den Nationalen Physikalischen Einrichtungen Absolut-eichungen der Instrumente durchgeführt wurden, daß in Messungen gegen die Sonne die nach den beiden Skalen geeichten Instrumente untereinander verglichen wurden, daß FEUSSNER in Gemeinschaft mit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ein Absolutinstrument entwickelte, welches das Prinzip des Rührwasser-Kalorimeters mit dem der Kompensation verband (Abb. 4.3), und daß schließlich VOLOCHINE ein sehr genaues Instrument auf der Grundlage des Eiskalorimeters entwickelte. Schon vor der Jahrhundertwende hatte MICHELSON (78) in Moskau ein Absolutpyrheliometer nach dem Prinzip des Eiskalorimeters entwickelt. Die Frage der Skalen konnte endgültig nur durch eine Resolution geregelt werden, mochte diese richtig sein oder nicht. Dies geschah schließlich durch die Einführung der *Internationalen Pyrheliometerskala* 1956 auf der Sitzung der Strahlungskommission in Davos als Abschluß eines

40jährigen Kampfes, sozusagen durch einen Schwertstreich. G. D. ROBINSON gebührt das besondere Verdienst, dieser Resolution durch sorgfältige Formulierung zur Annahme verholfen zu haben.

Die andere Frage, die Bestimmung der Solarkonstante, konnte nur durch spektrale Messungen in Angriff genommen werden. Es ist das unauslöschliche Verdienst von LANGLEY (70), diese Tatsache erkannt zu haben und das Sonnenspektrum jahrzehntelang am Astrophysikalischen Observatorium der Smithsonian Institution durchgemessen zu haben. Langley war nicht der allererste, der das totale Spektrum kannte. W. HERSCHEL (55) hatte 1800 den infraroten Teil des Sonnenspektrums entdeckt, FRAUNHOFER (46) fand 1815 im sichtbaren Spektrum die Absorptionslinien, die seinen Namen tragen, John HERSCHEL (56) hatte 1840 die weiten strahlungslosen Absorptionsbanden im infraroten Spektrum gefunden und 1858 hatte Johannes MÜLLER (83) das

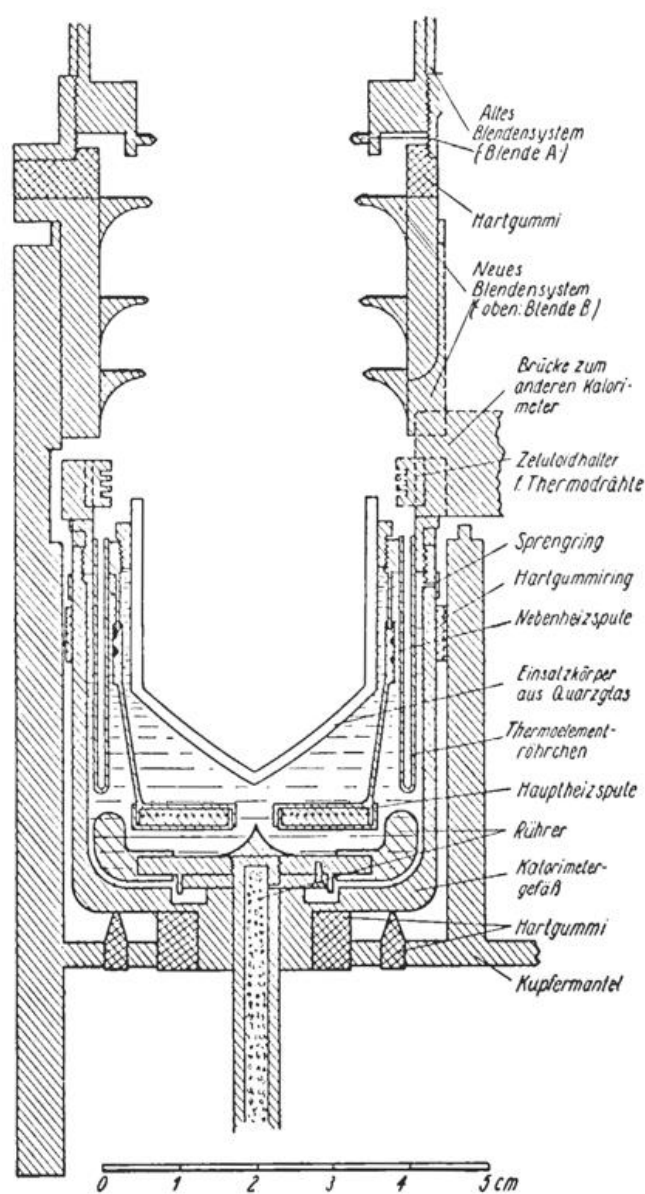


Abb. 4.3
Quarzglas-Pyrheliometer nach Feußner. Das Bild stellt nur die eine Hälfte des Kompensationsgerätes dar. Nach Feußner, Meteor. Zschr. 53, 304 (1936)

Sonnenspektrum hinter Prismen aus Steinsalz und Kaliumchlorid und durch Gitter gemessen und hatte das letztere als Normalspektrum bezeichnet.

Langley entwickelte zunächst das 1851 von SVANBERG (105) entdeckte *Bolometer* weiter, um das Spektrum genau durchmessen zu können. Das Bolometer beruht darauf, daß sich der elektrische Widerstand dünner Drähte mit zunehmender Temperatur, z. B. auch bei Bestrahlung eines geschwärzten Drahtes, vergrößert und man die Widerstandsveränderung messen kann. Außerdem führte Langley systematische Vergleiche der Energieverteilung hinter den drei verschiedenen Spektrographen durch. In der Folgezeit bemühte er sich, das Sonnenspektrum möglichst sauber zu bestimmen. Dazu bedurfte es der Meßplätze, die außer nur geringen Störungen durch Wolken und Dunst auch möglichst keinen Tagesgang aufwiesen. Er und seine Mitarbeiter ABBOT (1), FOWLE (45) und ALDRICH (5) gründeten Observatorien an Stellen, wo sie glaubten, solche Bedingungen gut verwirklicht zu finden. Es entstanden so die bekannten Observatorien auf hohen Bergen der Subtropen, wie dem Mount Wilson, Mt. Whitney, Mt. Montezuma, Mt. St. Catherine auf der Sinai-Halbinsel, Mt. Bruccaros in Südafrika und schließlich auf dem Table Mountain in Californien. An allen diesen Plätzen wurde das Sonnenspektrum dauernd durchgemessen, auf absolute Einheiten reduziert und Wellenlänge für Wellenlänge auf das extraterrestrische Sonnenspektrum extrapoliert. Dieses genaue Verfahren war es, das Violle in seinem großen Bericht als viel zu umständlich abgelehnt hatte, jedoch war es das einzige, das wegen der nur monochromatischen Gültigkeit des Bouguer'schen Gesetzes korrekt war. Bei diesen Studien Langleys und seiner Mitarbeiter

wurden auch die *spektralen Extinktionskoeffizienten* selbst genau bestimmt. Die fünf Bände der Annalen des Astrophysikalischen Observatoriums der Smithsonian Institution sind deshalb auch heute noch Fundgruben für jeden Strahlungsforscher.

Das Ziel, Veränderungen der Solarkonstanten zu finden, wurde trotz jahrzehntelanger intensiver Untersuchungen nicht erreicht. Die Veränderungen, die man gefunden hatte, blieben nicht frei von Zweifeln, und die erwarteten Verknüpfungen zwischen der Solarkonstante und der Sonnenaktivität konnten nicht zweifelsfrei bewiesen werden. Es ist dies nicht nur ein physikalisch-technisches Problem, denn trotz aller Sorgfalt kann man nicht vollständig Störungen durch die Natur selbst ausschließen, besonders Störungen in der Durchlässigkeit der Atmosphäre. Schließlich und eigentlich muß man außerhalb der Atmosphäre messen, ein Ziel, für das sich erst heute technische Möglichkeiten der Realisierung anbieten. Momentanwerte der Solarkonstanten sind auf diese Weise verlässlich von DRUMMOND (39) mit einem Wert von $1.95 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ gemessen worden. Veränderungen, die im Ganzen sicherlich unbedeutend sein werden, können nur von künstlichen Satelliten aus überwacht werden. Im fernen Ultraviolett und im Röntgenstrahlungsgebiet treten Veränderungen der Sonnenstrahlung von mehreren Zehnerpotenzen auf; ähnliche Veränderungen sind aus dem cm-Wellen-Gebiet bekannt. In dem Teil des Spektrums, der im Hinblick auf die Energie am wesentlichsten ist, sind unbezweifelbare Veränderungen noch nicht gefunden worden. Dies bleibt eines der ungelösten Probleme für die zukünftige Forschung. Es ist wichtig, weil es in die globale Wärmebilanz eingeht.

5 Schwächung der Sonnenstrahlung Streuung und Polarisation

Die Sonnenstrahlung wird durch Streuung geschwächt mit einem Extinktionskoeffizienten, der stetig von der Wellenlänge abhängt sowie durch Absorptionsbanden in selektiven Teilen des Spektrums. Der monochromatische Streukoeffizient wird durch Verfolgung der Intensität bei verschiedenen durchstrahlten optischen Luftmassen gefunden. In dunstfreier Luft sollte dieser gleich dem theoretischen Wert nach RAYLEIGH (89) sein und dem λ^{-4} -Gesetz folgen. In extrem klarer Luft konnte das Rayleigh-Gesetz durch spektrale Messungen der Sonnenstrahlung nahezu bestätigt werden. Aber für diesen Zweck ist eine Extrapolation notwendig, nämlich auf absolut dunstfreie Luft. Extrapolationen sind immer fraglich. Deshalb konnte eine exakte Bestätigung des λ^{-4} -Gesetzes nicht gefunden werden. In dem theoretischen Wert des Rayleighschen Streukoeffizienten tritt die Loschmidtsche Zahl auf, die Zahl der Moleküle in einem Kubikzentimeter. Es wird manchmal behauptet,

die Richtigkeit des Rayleighschen Gesetzes könnte dadurch bewiesen werden, daß man aus den Messungen die Loschmidtsche Zahl richtig ableiten könne. Das ist falsch, denn die Genauigkeit der Extrapolation reicht dafür nicht aus. Trotzdem liegt keinerlei Grund vor, an der Richtigkeit von Rayleighs Gesetz zu zweifeln. In gleicher Weise konnten auch die Korrekturen, die 1929 CABANNES (28) an Rayleighs Gesetz angebracht hatte, um die Abweichungen der Molekülgestalt von der Kugel zu berücksichtigen, nicht durch Messungen in der Atmosphäre bestätigt werden. Dies ist nur in Laboratorien mit den empfindlichen Methoden der modernen Meßtechnik möglich geworden, ebenso die Bestätigung des Rayleighschen Gesetzes selbst.

Durch die permanenten Messungen des Sonnenspektrums war eine riesige Menge von ausgezeichneten Messungen der Extinktionskoeffizienten gesammelt worden. Jedoch ist die Luft im allgemeinen nicht Ray-

leigh-rein sondern mehr oder weniger dunstig mit einem größeren Extinktionskoeffizienten als dem für reine Luft. Auch diese Werte waren natürlich in den Messungen enthalten, ebenso Werte für die Absorptionskoeffizienten des Wasserdampfes und anderer Gase im Infraroten, Sichtbaren und Ultravioletten. Zahlenwerte und ihre Veränderungen mit der Wetterlage, mit Tageszeit und Jahreszeit oder mit der geographischen Breite waren dadurch verfügbar. An manchen Strahlungsobservatorien waren Messungen nur mit geringerer spektraler Auflösung oder einfach durch Glasfilter gemacht worden, die nur größere Teile des Spektrums trennten. Diese Filter waren durch besondere Empfehlungen der Strahlungskommission ausgesucht worden. Alle diese Beobachtungen waren in Tabellen gesammelt. Jeder, der atmosphärische Strahlung in den 20er Jahren studieren wollte, hatte ausgezeichnete Lehrbücher zur Verfügung, wie z. B. DORNO's (37) „Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung“. Jedoch war da eine solche Überfülle an numerischen Daten angeboten, daß es kaum möglich war, alles im Kopfe zu behalten oder gar Vergleiche zwischen den verschiedenen Stationen, Wellenlängen, Tages- und Jahreszeiten anzustellen. Strahlungsforschung war damals eine Art von hochspezialisierter klimatologischer Wissenschaft.

Dadurch wurde es eine dringende Aufgabe, Parameter zu schaffen, die für Vergleiche geeignet waren. Der mittlere Extinktionskoeffizient für etwas weitere Spektralbereiche konnte nicht benutzt werden, weil er sich mit der Sonnenhöhe oder mit der optischen Luftmasse ändert, sobald der Spektralbereich Wellenlängen mit verschiedenen Extinktionskoeffizienten einschließt. Sogar bei einer ungeänderten Zusammensetzung von Luft und Dunst ist er nicht eine konservative Größe. LINKE (72) tat in Zusammenarbeit mit dem Frankfurter Astronomen BODA (20) 1922 durch Definition des *Trübungs-faktors* den entscheidenden Schritt. Hierdurch wird die gemessene Extinktion mit der Rayleigh-Extinktion verglichen, oder — roh gesprochen — gibt der Trübungs-faktor die Anzahl von reinen Rayleigh-Atmosphären an, die übereinandergeschichtet werden müssen, um die beobachtete Extinktion zu bekommen. Dies ist eine unmittelbar anschauliche Größe. Der Trübungs-faktor kann nie kleiner als 1 werden, weil weniger als eine Atmosphäre reiner Luft nicht vorhanden sein kann (für höhere Ortslagen sind Korrekturen anzubringen). Durch diese Maßnahme konnte das Strahlungsklima eines Ortes charakterisiert werden, man konnte verschiedene Orte vergleichen, Veränderungen mit der Tageszeit und Jahreszeit oder der Wetterlage erkennen, ohne die Unmengen von Zahlen im Kopf behalten zu müssen, die man zuvor gebraucht hatte. Man konnte auch Trübungs-faktoren für kurzwellige, langwellige oder die gesamte Strahlung definieren, und trotzdem blieben die Beziehungen leicht zu überschauen.

A. ÄNGSTRÖM (8) führte 1929 eine ähnliche Größe ein, den *Trübungs-koeffizienten*. Durch diese zweite Angabe wurde umso mehr ersichtlich, wie sehr eine solche charakterisierende Größe gebraucht worden war. Ängströms Größe bezieht sich nur auf den kurzwelligen Teil des Sonnenspektrums und schließt den infraroten mit seiner

starken Wasserdampfabsorption aus. Dadurch kann seine Definition physikalisch besser sein als die des Trübungs-faktors. Ängström bestimmte den Dunstanteil der Extinktion aus den Messungen der Smithsonian Institution und fand einen gemittelten Extinktionskoeffizienten proportional zu $\lambda^{-1.3}$. Das bedeutet, daß der Vergleich einer solchen Extinktion mit der Rayleigh-Extinktion von λ^{-4} , der in Linkes Trübungs-faktor gezogen wird, nur monochromatisch korrekt sein kann; mit anderen Worten, der monochromatische Trübungs-faktor muß sich mit der Wellenlänge ändern. Dies wiederum äußert sich in scheinbaren Tagesgängen und ähnlichen Störungen.

Wie das mittlere $\lambda^{-1.3}$ -Gesetz zustande kommt, diese Frage blieb zunächst ungeklärt. MIE (79) hatte 1908 das Problem der Streuung an dielektrischen Kugeln nach der Maxwell'schen Theorie gelöst. Die Theorie gab die Abhängigkeit des von der Kugel ausgesandten Streulichtes von dem Verhältnis des Kugelumfangs zur Wellenlänge und dem Brechungsindex der Kugelsubstanz an. Jedoch ist die Theorie mathematisch sehr kompliziert. Sie enthält unendliche Reihen, die für große Tropfen und kleine Wellenlängen mehrere hundert Terme haben kann, die nicht vernachlässigt werden dürfen. In Rayleighs Theorie wurde nur der Grenzwert für sehr kleine Werte r/λ in erster Annäherung behandelt. Das λ^{-4} -Gesetz gilt deshalb nur für sehr kleine Werte r/λ . Im Falle von sehr großen Wassertropfen erwies sich eine Vereinfachung des mathematischen Formalismus als möglich, die von DEBYE (33) in seiner Doktorarbeit verwendet wurde, um die Theorie des Regenbogens zu vollenden.

1931 unternahmen es A. S. STRATTON und H. G. HOUGHTON, Mie's Formeln für Wassertropfen verschiedener Größe numerisch zu berechnen und erhielten eine Kurve für die *Streukoeffizienten* eines einzelnen Tröpfchens. Es war naheliegend, in dieser Kurve nach Stellen zu suchen, wo die Tangente einem $\lambda^{-1.3}$ entsprach und daraus die charakteristische Größe der streuenden Wassertropfchen zu bestimmen. Linke fand zwei solche Stellen bei $r/\lambda = 0.65$ und 2.1 und schloß daraus, daß die Radien der Dunsteilchen $0.36 \mu\text{m}$ und $1.1 \mu\text{m}$ seien. Das war nicht sehr überzeugend. JUNGE war in der Lösung des Problems erst erfolgreich, als er in der Atmosphäre nicht bloß Aerosolteilchen von bestimmten Größen fand, sondern ein ganzes Größenspektrum. Die Anzahl der Tröpfchen im Radiusintervall nimmt mit wachsendem Radius entsprechend der 4. Potenz des Radius ab. Mit dieser Feststellung fanden JUNGE und VOLZ bald eine Veränderung des komplexen Streukoeffizienten mit λ^{-1} , was dem empirischen Wert Ängströms von $\lambda^{-1.3}$ nahe genug liegt, um als Erklärung angenommen werden zu können. Abweichungen von dem Exponenten -1.3 treten ebenso auf wie Abweichungen von der 4. Potenz der Tröpfchengrößen. Sogar besondere Erscheinungen, wie etwa die blaue Farbe der niedrigen Sonne in Europa und Nord-Amerika nach den großen Waldbränden 1950 in Kanada, können durch eine große Zahl von zusätzlichen Teilchen vom Radius $0.53 \mu\text{m}$ erklärt werden. Abweichungen von Junge's einfachem Gesetz treten auch geographisch in weiten Gebieten der Welt auf. Daher wer-

den direkte Zählungen der Teilchen gleichzeitig mit Messungen des Extinktionskoeffizienten heute immer noch gebraucht. Den komplexen Extinktionskoeffizienten erhält man durch eine Integration des Streukoeffizienten als Funktion der Wellenlänge über alle Teilchengrößen, die gemäß der Zählung vorhanden sind. Solche Vergleiche werden nicht nur die allgemeinen Gesetze bestätigen, sondern auch die Ergebnisse von speziellen Einzelfällen. Zuvor ist es aber nötig, exakte Berechnungen der Mie-Koeffizienten von allen Tröpfchengrößen zu haben und den Brechungsindex der Partikelsubstanz zu kennen. Nach der Einführung der großen Computer konnten solche Berechnungen leichter gemacht werden als zur Zeit von Stratton und Houghton. Unter den ersten umfangreichen Berechnungen waren die von GUMPRECHT und SLIEPCEVICH und von PENNDORF, nicht zu vergessen VAN DE HULST's bekanntes Buch von 1957 über Light scattering by small particles. 1962 trug Penndorf eine Bibliographie von allen solchen Berechnungen zusammen und fand bis zu diesem Jahr nicht weniger als 123 Titel. Heute hat jeder Forscher auf diesem Gebiet sein eigenes Programm, um die notwendigen Rechnungen jederzeit nach Bedarf selbst ausführen zu können. Die durch Streuung der Sonnenstrahlung in der Atmosphäre entnommene Strahlung gelangt als Himmelslicht oder Himmelsstrahlung zum Boden. Hier erfordert ein anderes spezielles Phänomen eine Erklärung. Nach der Entdeckung der Polarisation des Lichtes in den Physikalischen Laboratorien fand zuerst ARAGO (10) 1809, daß das Himmelslicht ebenfalls *partiell polarisiert* sei. Die diffuse Himmelsstrahlung schien gut durch die Theorie Rayleighs erklärt. Der Himmel ist blau, die Sonne ist besonders bei niedrigem Höhenwinkel rot, und ein Polarisationsmaximum existiert bei 90° Abstand von der Sonne im Sonnenvertikal, genau wie es Rayleighs Theorie verlangte. Jedoch alle Versuche, die Verteilung der Polarisation durch einfache Streuung an den Luftmolekülen zu erklären, konnten nicht alle Beobachtungen darstellen.

Außerdem stellte sich heraus, daß die Polarisation äußerst empfindlich gegen Lufttrübungen war. Beispielsweise waren die Störungen der Polarisation auffallend, die viele Jahre nach großen Asche-Eruptionen von Vulkanen anhielten. Auch andere Trübungen brachten Störungen im Normalverhalten der neutralen polarisationsfreien Punkte und der Polarisationsgrößen. Es wurden daher immer wieder Polarisationsmessungen empfohlen, wenn es darum ging, ein Forschungsprogramm zur Erklärung oder Vorhersage von Wettererscheinungen aufzustellen. Trübungen in hohen Schichten gehen dem Schlechtwetter voraus und kündigen es an. Da man aber den genauen Wirkungsmechanismus nicht erklären konnte, war es auch unmöglich, hohe und bodennahe Trübungen zu unterscheiden. Vor allem JENSEN (63) hat die Notwendigkeit immer wieder betont, ohne allerdings ein klares Konzept geben zu können, welche Art von Störungen für welche Entwicklungen im Wetter Vorzeichen sein könnten.

Nach der einfachen Theorie sollte die Stelle der maximalen Polarisation in reiner Luft ein total polarisiertes Licht zeigen. Die Beobachtungen ergaben nur 70 bis 80%

Polarisation. Die sogenannte negative Polarisation und die neutralen Punkte, wo keinerlei Polarisation herrscht, und die nach ihren Entdeckern als ARAGO (10)-, BABINET (14)- und BREWSTER (22)-Punkte bekannt waren, trotzten ebenso jeder Erklärung.

Zwei vollständig verschiedene Versuche einer Erklärung waren angeboten. Einer machte die Vielfachstreuung in der Lufthülle verantwortlich. Ein jedes Luftteilchen wird nicht nur durch die Sonne beleuchtet, sondern auch durch das Himmelslicht, das sein Vorhandensein bereits einem Streuvorgang verdankt. Der mathematische Zusammenhang erscheint verständlich, aber alle Versuche, die 1888 von SOROT (102), 1896 von HURION (62), 1914 von AHLGRIMM (2) und 1926/28 von TICHANOWSKI (109) gemacht worden waren, scheiterten oder konnten nur Teilstücke erklären. Die mathematischen Modelle, die man verwandte, waren noch zu roh. Trotzdem gab es Forscher, die die Wirkung der sekundären Streuung gefühlsmäßig richtig beurteilten. So soll BREWSTER den von ihm entdeckten neutralen Punkt auf Grund von Überlegungen zur sekundären Streuung gesucht und gefunden haben.

Ein anderer Vorschlag war von MILCH (81) gemacht worden. Um das Jahr 1920 waren noch keine Berechnungen der Mie-Streuung an größeren Partikeln und von einer eventuell damit verbundenen Polarisation verfügbar. Die alten Experimente von GOVI (49) über die Polarisation durch Aerosole waren vergessen und unbekannt. Daher durfte Milch annehmen, daß atmosphärischer Dunst ohne jeden Polarisierungseffekt streuen würde. Dementsprechend nahm er eine Entpolarisierung durch den atmosphärischen Dunst an und definierte einen Depolarisationsfaktor durch die Trübung, etwa ähnlich dem Trübungsfaktor.

Auf jeden Fall war bis etwa 1950 die Himmelspolarisation noch in der gleichen Situation wie die atmosphärische Strahlung vor Einführung des Linke'schen Trübungsfaktors. Eine Unmenge von Beobachtungsdaten war gesammelt worden und in einem 1912 veröffentlichten Buch von BUSCH (27) und JENSEN (63) „Tatsachen und Theorien der atmosphärischen Polarisation“ dargestellt. Aber es gab noch keine klare Konzeption für die Deutung oder für eine Entscheidung zwischen den beiden Hypothesen, die beide noch ziemlich unvollständig waren. Nach 40 Jahren sorgfältiger Beobachtungen hatte Jensen keine andere Möglichkeit eine Zusammenfassung seiner Ergebnisse vorzulegen, als getreu dem früheren Brauch der Klimatologie eine mittlere Kurve des Ganges der neutralen Punkte zu zeichnen.

Die Entscheidung kam erst mit der Theorie der Vielfachstreuung, die ursprünglich 1942 durch V. A. AMBARZUMIAN und später unabhängig 1950 von S. CHANDRASEKHAR entwickelt worden war. Für die numerische Ausarbeitung der letzteren Theorie waren schon große Computer verfügbar. Fast alle Erkenntnisse über die meteorologischen Phänomene verdanken wir den zahlreichen numerischen Untersuchungen von SEKERA (98) und seinen Mitarbeitern. Sie waren in der Lage, die unvollständige Polarisation am Maximalpunkt zu erklären, den Ursprung der neutralen Punkte und ihre mit der Sonnenhöhe veränderlichen Abstände. Sogar die Wirkung

einer Dunstschicht, die zu einer Rayleigh-Atmosphäre hinzugefügt wurde, konnte klargelegt werden. Dies war einer der bemerkenswerten Fälle in der Geschichte der Wissenschaften, wo eine Unsicherheit, die für mehr als 70 Jahre schwer empfunden worden war, aufgeklärt und gelöst werden konnte.

Heute warten wir noch auf eine Theorie der Polarisation mit Vielfachstreuung in einer gemischten Luft-Dunst-Atmosphäre. Lösungen für die kugelförmige Atmosphäre sind noch nicht so gut bekannt, daß man auch den Gang der neutralen Punkte für den Fall der Sonne unterm Horizont aufklären könnte. Dagegen kann die Theorie der Himmelhelligkeit als vollständig gelöst angesehen werden, selbst für die dunsthaltige Atmosphäre und mit Einschluß der Rückstreuung von der Erdoberfläche. Die Berücksichtigung der Mie-Streuung der Partikeln machte dabei die größten Schwierigkeiten, da die sehr unsymmetrische Streuungsverteilung die Entwicklung von Legendre-Polynomen bis zu 150 Termen erfordert. Dies wurde erst möglich nach der Einführung wirklicher Hochgeschwindigkeitsrechner.

Jedoch scheinen einige Fragen der Streuung noch ungeklärt zu sein. Von den Sonnenstrahlungsmessungen der Smithsonian Institution hatten KIMBALL (66) und FOWLE (45) eine Streuwirkung des Wasserdampfes abgeleitet proportional λ^{-2} , abgesehen von seiner Absorptionsfähigkeit. LINKE hatte sich immer scharf gegen diese Annahme gewandt, weil Wasserdampf ein Gas ist und seine Streuung in der Streuung aller anderen Gase proportional λ^{-4} verschwinden muß. Indessen wachsen in sehr feuchter Luft die Dunstpartikeln. Ihre Extinktion ist proportional λ^{-1} oder λ^{-2} und mag dann irrtümlich dem Wasserdampf zugeschrieben werden.

Im Hinblick auf die Dunstteilchen hatte G. D. ROBINSON die sehr genauen Messungen der direkten Sonnenstrahlung und der Himmels- und Globalstrahlung des Kew-Observatoriums zur Verfügung. Er bestimmte zunächst die Extinktion der Sonnenstrahlung und berechnete die Globalstrahlung nach Abzug der Bandenabsorption des Wasserdampfes auf einem einfachen Wege. Er fand Unterschiede zwischen seinen Berechnungen und den Messungen, die er nur durch eine Absorption im Dunst, zusätzlich zu dessen Streuung, erklären konnte. Dies war zwar unerwartet, kann aber leicht verstanden werden, weil Dunstteilchen absorbieren müssen, wenn sie aus einem Kern mit festem Material und einer Wasserhülle bestehen. Dies Problem ist in den letzten Jahren unter Verwendung der verschiedensten Methoden sehr sorgfältig untersucht worden. In einer ähnlichen Weise, wie es ROBINSON für die Gesamtstrahlung aller Wellenlängen getan hatte, machten LEUPOLT 1964 und QUENZEL 1965 sorgfältige spektrale Messungen der Sonnenstrahlung und der Strahlung einzelner Himmelspunkte und verglichen sie mit theoretischen Berechnungen. Während der BOMEX-Expedition wurde die kurzweilige Strahlungsbilanz dicker atmosphärischer Schichten untersucht durch Messungen des Nettostromes solarer Strahlung von Flugzeugen in verschiedenen Höhen aus. Schließlich wurde der imaginäre Anteil des Brechungsindex, auf den Absorptionen zurückzuführen sind, direkt bestimmt (K. FISCHER) 1969) oder aus Messungen der

elliptischen Polarisation kleiner, dunsthaltiger Luftpakete abgeleitet (EIDEN 1966). Durch alle diese Studien wurde Robinsons Annahme bestätigt, daß ein bemerkenswert großer Teil der Sonnenstrahlung durch den atmosphärischen Dunst außerhalb der großen Absorptionsbanden der atmosphärischen Gase in einer sogenannten Continuum-Absorption absorbiert wird. Dieser Teil ist wahrscheinlich so groß, daß unsere quantitativen Vorstellungen von der Strahlungsbilanz der Atmosphäre revidiert werden müssen. Aus diesem speziellen Grund verbleibt das eine Notwendigkeit für sehr gründliche weitere Forschungen.

Absorption

Reine Streuung kann keine Strahlungsenergie in thermische Energie verwandeln. Neben dem kleinen Effekt des Dunstes, den wir eben erwähnt haben, wird die Energieumwandlung zum größten Teil durch die Absorption der dreiatomigen Gase im infraroten Teil des Spektrums bewirkt. Wenn wir die schmalen und energetisch wenig wirksamen „tellurischen“ Fraunhofer-Linien im Sichtbaren vernachlässigen, spielen die Absorptionen durch Ozon im Ultraviolett und durch Wasserdampf im Infrarot die wichtigste Rolle. Auch hier sind die grundlegendsten Untersuchungen von Astronomen und Physikern durchgeführt und später von Meteorologen verwendet worden. W. HERSCHEL (55) entdeckte 1800 zum ersten Male das *solare Infrarot*. John HERSCHEL (56) entdeckte 1840 dort kalte oder dunkle Gebiete, die wir heute als *Absorptionsbanden* kennen. Auch DRAPER (38) hat 1843 durch Photographie „drei dunkle Linien“ im infraroten Spektralgebiet entdeckt. 1835 suchte MELLONI (77) Substanzen, die für die Wärmestrahlung durchlässig sein könnten und fand Steinsalz (NaCl) und Sylvin (KCl) als „diathermane“ Substanzen, wie man sie damals nannte. Beide Materialien konnten daher benutzt werden, um Linsen und Prismen daraus herzustellen, mit denen man das infrarote Spektrum untersuchen konnte. 1849 benutzte SEEBECK (97) Beugungsgitter, um das infrarote Spektrum aufzulösen. Mit den Untersuchungen von LANGLEY (70), später auch von seinen Mitarbeitern ABBOT (1) und FOWLE (45), begannen ungefähr 1883 die Forschungsarbeiten, durch die man eine viel genauere Kenntnis der Absorptionsbanden und ihre Verstärkung bei zunehmendem Wasserdampfgehalt erhielt, Abb. 5.1 zeigt ein von LANGLEY 1888 erhaltenes Sonnenspektrum, das hier bis $5 \mu\text{m}$ gezeigt ist; die Messungen reichten bis $25 \mu\text{m}$. FOWLE hatte 1917 die Absorptionsbanden des Wasserdampfes unter natürlichen Bedingungen gemessen, und diese Messungen blieben für einige Jahrzehnte die verlässlichsten Daten. Unter anderen hat MOLLER sie zu einer handlichen Formel für die gesamte Absorption im solaren Infrarot zusammengefaßt. Für heißen Dampf von 100°C gab es auch andere Absorptionsmessungen, aber Eva von BAHR (15) hat in einer berühmten Untersuchung von 1908 gezeigt, daß solche Messungen nicht das gleiche Ergebnis brachten wie kalter Dampf. Die Unterschiede wurden schließlich erst 1956 aufgeklärt durch die umfangreichen Laboratoriumsuntersuchungen von HOWARD, BURCH und WILLIAMS, die die Absorption

in einzelnen Banden für verschiedene Wasserdampfgehalte unter verschiedenen Luftdrücken maßen.

Streuung und Absorption durch die atmosphärischen Gase sind die einzigen Einflüsse, durch die die Sonnenstrahlung in einem wolkenlosen Himmel verändert wird. Die *Bewölkung* ist jedoch sehr wichtig für den allgemeinen Fall der atmosphärischen Strahlungsbilanz. Ihre Rolle zu erfassen ist wegen der großen Zahl von Wolkenparametern, die dabei mitspielen, viel schwieriger. Strahlung wird reflektiert an den Ober- und Unterflächen der Wolken und auch an den Seitenwänden. Sie wird in den Wolken absorbiert und in Form diffuser Strahlung durchgelassen. Rohe Werte von solchen Charakteristiken wurden schon vor langer Zeit gemessen. Aber allein die Größe der Reflexion an der Oberfläche variiert zwischen 10 und 80% und gibt eine Ahnung von der großen Anzahl von dabei zu berücksichtigenden Einflüssen. In der Theorie wird gewöhnlich der Idealfall einer geschlossenen Wolkendecke angenommen. Durchbrochene Wolken werden dann als pro-

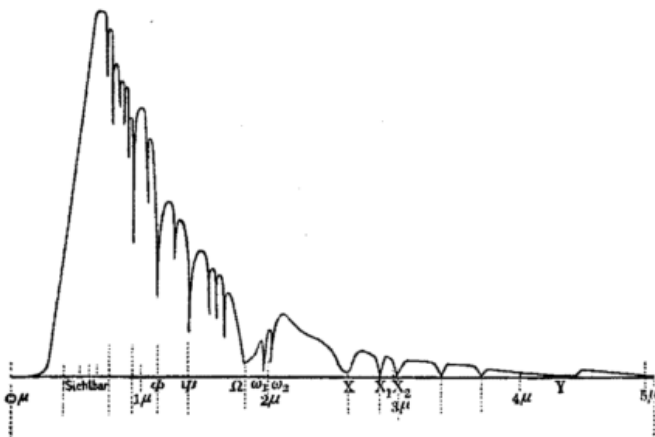


Abb. 5.1
Verteilung der spektralen Energiestromdichte im Sonnenspektrum nach Langley 1888. Nach O. D. Chwolson, Die Lehre von der strahlenden Energie, 2. Auflage, Braunschweig 1922, S. 324.

zentuales Mittel zwischen wolkenlosen und bedeckten Gebieten betrachtet. Wegen der Strahlungsströme, die an den Seiten der Wolken ein- und austreten, ist diese Vereinfachung wahrscheinlich falsch.

Um *Strahlungseinflüsse in dynamischen Berechnungen* oder Vorhersagen anzuwenden, ist irgend eine Art von Vereinfachung oder Parametrisierung nötig. Dieses Problem hat jedoch zwei Seiten: Einerseits muß die Parametrisierung richtig gemacht werden; das ist die Aufgabe der Strahlungsspezialisten. Eine andere Sache ist es, die benötigten Wolkenparameter in jeder beobachteten oder vorhergesagten Wettersituation zu erhalten. Solche Parameter sind beispielsweise die Temperatur, die großräumige Feuchtigkeitsgrenze, bei der Wolkenbildung einsetzt, die Menge, Gestalt und Höhe der Wolken. Dies ist eine Aufgabe für Dynamiker und Thermodynamiker.

Der Strahlungsvorgang am einzelnen Tropfen ist durch die Mie'schen Formeln für komplexen Brechnungsindex gegeben. Wenn r sich zwischen 5 und 500 μm bewegt und λ von 0.3 bis 3 μm , kann sich das Verhältnis r/λ von

etwa 2 bis 2000 ändern, und die Mie'schen Formeln werden äußerst unhandlich. Außerdem schwankt der Brechungsindex des Wassers unregelmäßig mit der Wellenlänge um mehrere Zehnerpotenzen. Schließlich können die Tropfenzahl oder der Gehalt an flüssigem Wasser in der Volumeneinheit, die Wolkendicke, die zwischen einigen Metern und 10 km schwanken kann, und die Reflexionszahl des Bodens (dunkles Meer, hellere Wiesen, sehr helle Schneedecke) stark die Reflexion, Absorption und Transmission der Wolken beeinflussen; außerdem ist der Weg des einzelnen Strahls innerhalb der Wolke nicht geradlinig (FRITZ 1954, KORB u. a. 1956). Deshalb kann die richtige Lösung nur durch die Strahlungsübertragungsgleichung von CHANDRASEKHAR geliefert werden, wobei sich die vielen darin enthaltenen Parameter aber von Fall zu Fall ändern und in der großen Mehrzahl der Fälle unbekannt sind. Deshalb ist es kaum möglich, alle Ströme für eine besondere vorgegebene Wolke zu berechnen. Das ist aber notwendig, um Theorie und Messung miteinander zu vergleichen. Es kann nur in einem sog. kompletten Experiment gelöst werden, wenn zuvor alle diese Parameter gemessen worden sind.

Ähnliche Studien für den Fall einer *Eiskristallwolke* sind sogar noch komplizierter. Im Falle der Tropfen wird die grundlegende Streufunktion durch die Mie-Theorie gegeben. Sicherlich gibt es auch eine Lösung der Maxwell'schen Gleichungen für Streuung und Absorption in hexagonalen Eiskristallen. Aber es ist keine Kunst vorherzusagen, daß es mathematisch äußerst schwierig sein wird, diese Lösung zu finden. Es wird leichter sein, die Lösung durch ein Experiment anstatt analytisch durch die Theorie zu erhalten. Dies ist auch von R. H. GIESE getan worden. Da die Lösung für die Streuung in großen Tropfen den Regenbogen oder Nebelbogen liefert, sollte auf jeden Fall die Lösung für Eiskristalle, wenn diese unregelmäßig im Raum verteilt sind, den 22°-Halo, oder bei bestimmten regelmäßigen Lagen die Nebensonnen oder andere Halophänomene zeigen. Das Auffinden von Halos ist natürlich nicht das wesentliche Ergebnis, es weist lediglich die Theorie als richtig aus, wenn sie Halos zeigt. Wenn man die Streufunktion von Eiskristallen hat, muß die Strahlungsübertragungsgleichung gelöst werden unter Verwendung der Eiskristall-Streuungs- und Absorptionsmatrix.

Die theoretische Aufgabe für *Wasserwolken* ist bereits so umfangreich, daß im allgemeinen nur besonders interessante Spektralgebiete ausgewählt werden, z. B. Bereiche mit starker oder mit überhaupt keiner Absorptionsbande. Einige wichtige Beiträge zu diesem Problem sind von YAMAMOTO 1966 und 1970, von ZDUNKOWSKI 1969 und von FEIGELSON 1964 und 1970 geliefert worden. Eine sehr frühe Untersuchung von E. W. HEWSON 1943 über Reflexion, Transmission und Absorption in Wolken und Nebel verdient noch erwähnt zu werden. Die Resultate seiner Untersuchungen waren nicht befriedigend; jedoch wurde sein ernsthafter Versuch, das Problem zu lösen, viele Jahre bevor die theoretischen Mittel zur Hand waren, unternommen. Hewson hatte als Erster die Notwendigkeit, das Problem zu untersuchen, erkannt.

6

Terrestrische Strahlung und das Strahlungsgleichgewicht

Bis jetzt habe ich nur das Partialfeld der solaren Strahlung behandelt. Wie bekannt, gibt es daneben das weite Feld der langwelligen Emission vom Boden und von der Atmosphäre, die man unter dem Wort terrestrische Strahlung zusammenfaßt. Sie hält der solaren Strahlung über längere oder kürzere Zeitperioden das Gleichgewicht. Betrachten wir zunächst wieder kurz die Entwicklung in der Physik. Wir wissen, daß schon 1553 strahlende Wärme als eine besondere Form der Energieübertragung erkannt worden war. MARIOTTE (74) benutzte Hohlspiegel aus Eis zum Sammeln der Wärmestrahlung und entflammte im Brennpunkt Schießpulver, ein experimentell sicher eindrucksvoller Versuch. Graf RUMFORD (92) entdeckte, daß ein heißer Zylinder, der in einen Stoff eingewickelt war, mehr strahlende Wärme emittierte als ein polierter Metallzylinder, was in unserer Sprache heißt, daß blanke Metalle eine geringe Emissionsfähigkeit besitzen. Die erste meteorologische Überlegung über die Wärmestrahlung vom Boden hat WELLS (112) gegeben, der die Wärmestrahlung für die Taubildung verantwortlich machte. Natürlich brachten die Gesetze von KIRCHHOFF und von STEFAN und BOLTZMANN wichtige Fortschritte im physikalischen Verständnis der langwelligen Wärmestrahlung. Aber in den nachfolgenden Dekaden habe ich davon wenig Erwähnung in der meteorologischen Literatur gefunden. Nachdem K. ÅNGSTRÖM (9) das Kompensationspyrheliometer konstruiert hatte, entwickelte er 1905 das *Pyrgometer* für die *effektive Strahlung* und 1910 das integrierende Instrument, das er *Tulipan* nannte. Messungen sind indessen erst in der zweiten Dekade dieses Jahrhunderts veröffentlicht worden.

Ab 1912 machte A. ÅNGSTRÖM (8) die ersten Messungen der *Gegenstrahlung* in Marokko und Kalifornien und leitete daraus die empirische Formel für die Abhängigkeit dieser Strahlung vom Wasserdampfbeitrag ab, die seinen Namen trägt. Von 1922 bis 1925 machten DINES Vater und Sohn (36, 35) mit einem Instrument eigener Konstruktion Messungen der langwelligen Himmelsstrahlung und ihrer Abhängigkeit vom Zenitwinkel. Aber außer diesen Messungen gab es keine näheren Untersuchungen.

In der Experimentalphysik war die spektrale Auflösung der Absorption von Gasen wie Wasserdampf und Kohlendioxyd, die auch für die Atmosphäre wichtig sind, schon am Ende des letzten Jahrhunderts gemessen worden und zwar von PASCHEN (85), RUBENS (91) und ASCHKINASS (12). 1918 hatte HETTNER (58) eine sorgfältige Spektralanalyse der Absorption von Wasserdampf bei hohen Temperaturen und Drucken durchgeführt. Jedoch machte man in der Meteorologie noch keinen Gebrauch von solchen Daten.

Eine andere Entdeckung faszinierte die Meteorologen der damaligen Zeit. Das war die *Entdeckung der Strato-*

sphäre oder, wie man damals sagte, der oberen Inversion durch TEISSERENC de BORT (106) und ASSMANN (13), die ihre Publikationen mit nur 14 Tagen Abstand herausbrachten. Eine Erklärung dieses auffallenden Phänomens durch Strahlungsprozesse wurde bald versucht. HUMPHREYS (61) und GOLD (48) können beide das Verdienst für sich in Anspruch nehmen, schon 1909 eine Erklärung durch langwellige Strahlung versucht zu haben. 1913 benutzte EMDEN (41) den Satz von Gleichungen, den Karl SCHWARZSCHILD (96) benutzt hatte, um die Temperaturschichtung in der Sonne zu erklären, für eine überzeugende Erklärung der isothermen Schicht oberhalb der Troposphäre. Emden nahm Gleichgewicht zwischen dem abwärts gerichteten Strom solarer Strahlung und dem aufsteigenden langwelligen Strahlungsstrom an. Er setzte weiter eine graue Absorption in diesen beiden Strahlungsflüssen an, natürlich mit verschiedenen Koeffizienten. Trotz der ziemlich rohen Annahmen fand er die sehr plausible Stratosphärentemperatur von -57° . Emdens Theorie blieb für eine erstaunlich lange Zeit ziemlich unangefochten, obwohl MÜGGE 1921 in seiner Dissertation zeigte, daß Emdens Gleichungen auch angewandt werden können, wenn ein Nettostrahlungsstrom, von Null verschieden, die Atmosphäre durchdringt. Dann variiert die Stratosphärentemperatur zwischen -30° und -90° . MÖLLER behielt 1941 Emdens mathematischen Formalismus bei, machte aber die ein wenig realistischere Annahme von zwei Absorptionskoeffizienten im langwelligen Spektrum des Wasserdampfes. Er fand keine isotherme Schichtung, sondern eine Stratosphärentemperatur, die stetig bis -137° abnahm. Durch dieses Resultat war bewiesen, daß ein Strahlungsgleichgewicht des Wasserdampfes allein keine Erklärung der Stratosphäre geben konnte.

Bis etwa 1928 hielt sich die Annahme der grauen Absorption des Wasserdampfes in der Atmosphäre mit nur wenigen Ausnahmen in der gesamten meteorologischen Literatur. Dann kam mit der berühmten Arbeit von SIMPSON (100) „Further studies in terrestrial radiation“ schließlich die schon lange überfällige Wende. Bei der Lektüre dieser Arbeit ist man noch heute, nach über 40 Jahren, erstaunt. In der Einleitung und in den Schlußfolgerungen sind Ideen vorweggenommen, die erst Jahrzehnte später Früchte getragen haben. Einige Autoren späterer Jahre mögen beim Wiederlesen dieses alten Aufsatzes Dinge gefunden haben, die sie längst als ihre eigenen Ideen angenommen hatten. Es war ein faszinierendes Schauspiel zuzusehen, wie SIMPSON und MÜGGE in jeder neuen Publikation sich auf die jüngst erschienene Arbeit des anderen bezogen, und wie sie einander zwischen London und Frankfurt (Main) die Bälle zuspielten. Ich hatte das Glück, dies als junger Meteorologe aus nächster Nähe beobachten zu können.

Simpson nahm Mügges Idee auf, daß es kein Gleichgewicht nach Emden gibt. Er berechnete die Strahlungsströme, die die Atmosphäre in verschiedenen Breiten verlassen oder in sie eintreten. Mügge fügte eine umfangreiche Untersuchung bei. Dann erschienen Simpson's „Further studies“, in denen zum ersten Male Hettner's spektrale Messungen, wenn auch in sehr vereinfachter Form, benutzt wurden. Aber er traf den Kernpunkt der Sache so ausgezeichnet, daß sogar heute noch seine Unterteilung des Spektrums in einen fast schwarzen und einen fast nicht absorbierenden Teil höchst instruktiv für einen Anfänger ist. Simpsons Untersuchungen beschränkten sich auch weiterhin auf die Netto-Strahlungsströme am Oberrand der Atmosphäre.

Wenn man annimmt, daß ein Nettostrahlungsstrom die Atmosphäre aufwärts oder abwärts durchdringt, dann ist es nur vernünftig, auch seine vertikale Veränderung anzunehmen. Dies ist wiederum identisch mit einer vertikalen Stromdivergenz und bringt Strahlungsquellen und -Senken in der Atmosphäre hervor. Solche Berechnungen wurden in Frankfurt mit der Entwicklung des ersten Strahlungsdiagrammes gemacht. In diesem Punkt trafen sich Mügge und meine Interessen. Mügge war und ist noch heute ein enthusiastischer Synoptiker. Schon der Ausgangspunkt seiner Dissertation war die erwartete Differenz der Strahlungsströme zwischen Hoch- und Tiefdruckgebieten. Ich hatte von STUVE (104), bei dem ich meine Dissertation angefertigt hatte, die Methoden der graphischen Darstellung und Berechnung gelernt. Aus unserer Zusammenarbeit ergab sich ein *Diagramm zur Berechnung von Strahlungsströmen*, das

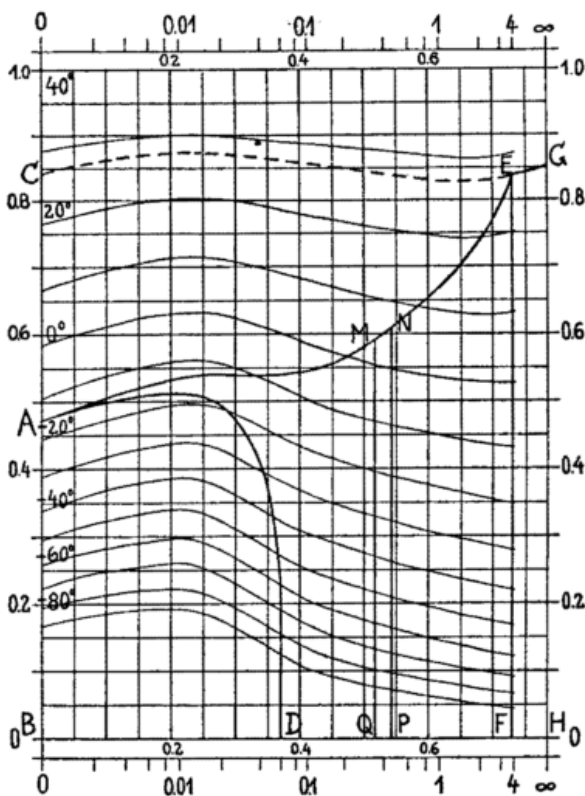


Abb. 6.1
Das erste Strahlungsdiagramm nach R. Mügge und F. Möller 1931. Nach Meteor. Zschr. 49, 97 (1932).

das Wasserdampfspektrum voll berücksichtigte und auch vom ersten Beginn an dazu bestimmt war, auf synoptische Lagen angewandt zu werden (Abb. 6.1). Im anderen Falle wäre die Untersuchung einer mittleren atmosphärischen Schichtung ausreichend gewesen ohne irgend eine Notwendigkeit für ein Rechendiagramm.

In der Zwischenzeit war ALBRECHT (4) aus Potsdam als dritter Mann in den Kreis eingetreten. Albrecht war ein genialer Konstrukteur von Strahlungsinstrumenten; er war ein hervorragender Physiker und hat später weitblickende Auswertungen von meteorologischen Beobachtungen durchgeführt, die ebenfalls klassisch geworden sind. Gleichzeitig mit unserer Berechnung des Strahlungsdiagramms hatte er in einer mühsamen Berechnung die Strahlungsströme und ihre Divergenzen in einem Einzelfall durchgerechnet. Er war enttäuscht, als wir auf derselben Sitzung der Meteorologischen Gesellschaft ein Verfahren anboten, solche individuellen Fälle in ein paar Stunden zu bestimmen. Aber besser als wir oder Simpson hatte er die quantentheoretischen Grundlagen der Druckverbreiterung der Absorptionslinien in Banden verstanden. Schon 1930 veröffentlichte er ein qualitatives Bild des Wasserdampfspektrums mit breiten Linien unter der Bedingung hohen Druckes und hoher Temperatur (Fall Hettner) und schmalen Linien für niedrige Temperatur (Fall Fowle). Diese Daten benötigten noch eine experimentelle Bestätigung, die später durch SCHNAIDT (95) auf der Grundlage von Messungen FALCKENBERGS (42) gegeben wurde.

Alle diese vorbereitenden Studien wurden 1938 und 1942 von Walter M. ELSASSER aufgegriffen. In seiner Strahlungskarte berücksichtigte er die Linienstruktur der Banden, wie sie von der Quantentheorie und der Linienverbreiterung gefordert wurde. Er nahm eine Modell-Absorptionsbande mit gleich intensiven Linien gleichen Abstandes an, die für nicht gar zu breite Spektralbereiche Gültigkeit haben konnte. Das Modell und die Transmissionsfunktion, die sich daraus ergab, wurde später von GOODY verbessert, der eine unregelmäßige Bandenstruktur einführte, die dem Wasserdampfspektrum besser angepaßt war. Viele weitere Autoren haben wichtige theoretische Beiträge zum Problem der *Transmissionsfunktionen* gemacht, vor allem GODSON, PLASS, KAPLAN und YAMAMOTO. Experimentelle Untersuchungen sind von ADEL, John SHAW und der Schule RANDALLS (88) von Ann Arbor gemacht worden.

Die besondere Methode, die langwellige Strahlungsübertragung zu behandeln, die durch die Strahlungskarten von MÜGGE und MÖLLER und von ELSASSER begonnen worden war, fand ihren vorläufigen Abschluß in dem Strahlungsdiagramm von YAMAMOTO, den Berechnungstafeln von ELSASSER 1960 und dem von RODGERS 1966 angegebenen Verfahren. Heute werden diese Methoden gelegentlich „klassisch“ genannt (was hier bedeutet „altmodisch“). Graphische Mittel oder Berechnungstafeln werden nicht mehr gebraucht, und die Daten werden direkt zum Computer gegeben, der alle benötigten Berechnungen mit hoher Verlässlichkeit macht.

Wir wollen noch einmal zum Problem des Strahlungsgleichgewichtes in der Atmosphäre zurückkehren. Ich erwähnte nur, daß die Stratosphäre nicht durch ein Strahlungsgleichgewicht des Wasserdampfes allein erklärt werden kann. Schon in den Jahren nach 1930 und 1940 wurden mehr und mehr Beobachtungen verfügbar, die auf eine sehr warme Schicht in der oberen Stratosphäre hindeuteten. Die *anomale Schallausbreitung* und die Theorie des Erscheinens und Verlöschtens von *Meteoriten* gaben die ersten Andeutungen. *Ozon* wurde mehr und mehr untersucht, und von den Linienbreiten in den Ozonbanden konnte eine hohe Temperatur in dieser Schicht abgeleitet werden. Die vertikale Verteilung war durch den Umkehreffekt erkannt worden. Alle diese Kenntnisse regten GOWAN (50) 1928 und wieder 1947 an, die Temperatur der oberen Stratosphäre durch Berücksichtigung der Emission und Absorption von Ozon, Wasserdampf und Kohlendioxyd in ihren getrennten und nicht überlappenden Banden zu berechnen. Die Zahlenwerte aller eingehenden Größen, die ihm zur Verfügung standen, waren jedoch noch ungenügend, und ebenso waren es die Ergebnisse. Schon 2 Jahre später, 1949, hatte GOODY viel bessere Daten und war zum ersten Male in der Lage, die Temperatur der Stratosphäre zu erklären. Weiter konnten 60 Jahre nach der Entdeckung der Stratosphäre MANABE u. a. eine quantitativ befriedigende Erklärung des stratosphärischen Temperaturprofils geben. Die Erwärmung durch die Absorption der ultravioletten Sonnenstrahlung im Ozon und die Abkühlung durch die Emission von Kohlendioxyd und Wasserdampf halten einander nur dann das Gleichgewicht, wenn in 50 km Höhe eine hohe Temperatur besteht, wie sie beobachtet wird. Die allerletzten Details können nur durch eine Kombination von Strahlung und Advektion in einem globalen Modell der allgemeinen Zirkulation erklärt werden.

ELSASSER, den ich gerade erwähnte, war gleichzeitig ein Bahnbrecher in der ausgedehnten Anwendung der Spektroskopie. Er regte in gleicher Weise Männer der physikalischen Meteorologie und Physiker, die an atmosphärischen Problemen interessiert waren, an, sich experimentell und theoretisch mit *Infrarotspektroskopie* zu beschäftigen. Man muß sich vor Augen halten: Noch 1934 glaubte BRUNT (24) in seinem ausgezeichneten „Lehrbuch der Physikalischen und Dynamischen Meteorologie“ feststellen zu müssen, daß der wahre Wert der Linienbreiten weder durch die Theorie noch durch das Experiment gefunden werden könnte. Ich erinnere mich, daß ich in den 30er Jahren verzweifelt nach physikalischen Untersuchungen suchte, um irgendwelche Daten für die Intensität der Absorptionsbanden zu finden. Damals waren die Physiker in der Hauptsache an Linienpositionen interessiert, um aus diesen die Trägheitsmomente und den Aufbau der Moleküle abzuleiten. Intensitäten schienen dafür nicht nötig zu sein. Natürlich waren neue Techniken wertvoll für neue Untersuchungen, und die Theoretische Physik lehrte auch, wie man die Banden berechnen konnte. BECKER (17) bestätigte 1930 experimentell die Vorstellungen über die Linienform, die sich auf die Lorentzsche Dispersionstheorie gründeten und ebenso auf den frühen Untersuchungen

von LADENBURG (68) und REICHE (90) basierten. Die berühmte Arbeit von RANDALL (88), DENNISON, GINSBURG und WEBER von 1937 gab zum ersten Male Daten über die Stellung und Intensität von Linien im Rotationsspektrum des Wasserdampfes. Eine der ersten Untersuchungen, die Quantenübergänge in den Wasserdampf- und Kohlendioxydbanden zu berechnen, wurde von YAMAMOTO und ONISHI 1949 veröffentlicht. GOODY maß die langwelligen Emissions- und Transmissionsspektren mit hoher spektraler Auflösung, und schließlich berechneten KING, HAINER und CROSS das Matrixelement der Übergangswahrscheinlichkeiten im Molekül und seinen Einfluß auf die Linienstärke.

Jemand, der nicht sehr vertraut mit der atmosphärischen Strahlungsforschung ist, mag nicht verstehen, warum Meteorologen sich für so zahllose Details interessieren, und warum die Infrarotspektroskopie zu einem so extrem hohen Niveau gebracht werden mußte, um dann so relativ rohe Effekte zu bestimmen wie die vertikale Divergenz der Strahlung im Gesamtspektrum aller Wellenlängen. Heute bestimmen wir theoretisch und experimentell die Linienprofile der komplizierten Absorptionsbanden dreiatomiger Moleküle wie H_2O , wir studieren die Veränderung der Profile mit Luftdruck und Temperatur und gehen dann damit ein in die Strahlungsübertragungsgleichungen von CHANDRASEKHAR, um schließlich die atmosphärischen Effekte im Integral über alle Wellenlängen zu finden. Die Berechnungen müssen Linie für Linie gemacht werden, weil die Kenntnis der Absorption in den Fenstergebieten, weit entfernt von den Linienmitten, nur aus der exakten Linienform außerhalb der fernen Flügel von allen Linien erhalten werden kann. Dies war und ist kein falscher Weg und kein Umweg. Bücher wie die von K. S. SCHIFRIN 1951, H. C. van de HULST 1957 und R. M. Goody 1964, die das hohe Niveau der atmosphärischen Strahlungstheorie widerspiegeln, sind auf jeden Fall notwendig gewesen. Während der letzten 50 Jahre war die Theorie der atmosphärischen Strahlung immer den Messungen voraus. Sogar heute sind wir in manchen Fällen imstande, Strahlungsprozesse mit mehr Verlässlichkeit zu berechnen als sie zu messen. Und wenn es Messungen im Labor oder in der Natur gibt, die einander oder theoretischen Berechnungen widersprechen, dann muß man erst die Theorie verstehen, bevor man entscheiden kann, was verlässlicher ist, oder ob die theoretischen oder gemessenen Daten besser auf die Atmosphäre anzuwenden sind.

Die Meßbedingungen sind aus zwei Gründen in der Atmosphäre besonders schwierig. Zuerst ist das absorbierende und emittierende Medium so inhomogen, daß es im Labor nicht in der gleichen Form nachgeahmt werden kann. Zweitens ist innerhalb der Atmosphäre keine Plattform ruhig genug, um die hochkomplizierten Instrumente zu montieren. Dies macht die umständlichen Vergleiche der verschiedenen Radiometersonde-Konstruktionen verständlich. In diesem Falle mögen die Berechnungen der Strahlungsströme genauer sein als die Messungen. Andererseits ist für Messungen von Satelliten aus eine Plattform verfügbar, die — nach dem Start — vollkommen frei von irgendwelchen Vibrationen ist. In

diesem Falle können Messungen genauer sein als Berechnungen.

Die intensive Beschäftigung mit der Theorie der Linien in den Bandenspektren hat noch einen anderen Grund, oder besser, einen anderen Nutzen. In der unteren Atmosphäre sind die Gase im thermodynamischen Gleichgewicht. Absorption eines Strahlungsquantums wird unmittelbar in kinetische Energie der Wärmebewegung übergeführt, und alle Strahlungsemission wird der kinetischen Energie der Moleküle in Form von Translation, Schwingung oder Rotation entnommen. In der hohen Atmosphäre gilt das nicht mehr. Hier kann die spontane

Emission von Wärmestrahlung schneller ablaufen als die Zeit zwischen zwei Zusammenstößen von Molekülen. Deshalb ist der Übergang von Strahlungsenergie in Wärme und umgekehrt nicht so eindeutig wie in unteren Schichten. MILNE (82) in der Astronomie und GOODY in der Meteorologie haben auf die Wichtigkeit dieser besonderen Bedingungen hingewiesen. Eine theoretische Erklärung der Strahlungsbilanz in der oberen Mesosphäre kann nicht ohne eine gute Kenntnis dieser Beziehungen gegeben werden. Ich glaube, daß es hier noch zahlreiche ungelöste Probleme der Meteorologie gibt.

7 Strahlungsbilanz

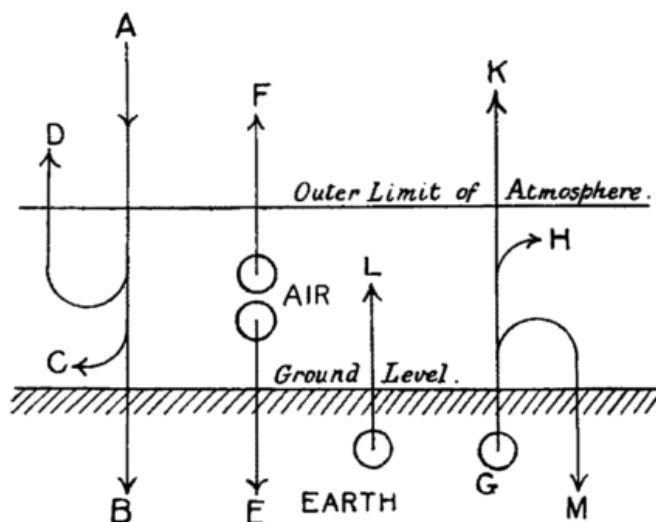


Abb. 7.1
Die Strahlungsbilanz der Atmosphäre. Reproduktion der Originalzeichnung aus DINES, L. W.: Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 43, 151—158 (1917).

Darin bedeuten:

- A = Strahlende Energie, welche die Atmosphäre erreicht.
- B = Durch die Erde absorbierter Anteil
- C = Durch die Luft absorbierter Anteil
- D = Durch Erde oder Luft reflektiert
- G = Strahlung der Erde
- M = zurückgespiegelter Anteil (Irrtum des Autors, dieser Anteil existiert nicht)
- H = absorbierter Anteil
- K = hindurchgelassener Anteil
- E = abwärts gerichtete Strahlung der Luft
- F = aufwärts gerichtete Strahlung der Luft
- L = Wärme von der Erde an die Luft übergehend, aber anders als durch Strahlung

Ich habe soeben den Begriff Strahlungsbilanz gebraucht. Die Strahlungsbilanz in ihrer Verbindung mit der Dynamik der Atmosphäre wird heute als das Endziel der meteorologischen Strahlungsforschung betrachtet, wenn es überhaupt jemals ein Endziel der Forschung an sich gibt. W. H. DINES (36) erkannte 1917 als Erster, daß die verschiedenen Strahlungsgrößen, oder wie wir heute sagen, Strahlungsströme an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre nicht unabhängig voneinander sind, sondern daß es ein Gleichgewicht zwischen Einstrahlung und Emission des ganzen Systems Erde + Atmosphäre gibt. Sein Ausgangspunkt war nicht eine theoretische Auffassung, wie bei EMDEN (41) vier Jahre vorher, sondern es waren Größen, die er an der Erdoberfläche gemessen hatte und von der Solarkonstante, für die er einen brauchbaren Zahlenwert besaß. Er kannte die solare Einstrahlung und die langwellige (nächtliche) Ausstrahlung, die diffuse Himmelsstrahlung und die Gegenstrahlung der Atmosphäre, aber er mußte noch eine ganze Serie von Zahlenwerten aus Bedingungsgleichungen ableiten, die er gut und sorgfältig formulierte. Dieses Grundproblem war damit zum ersten Male aufgestellt (Abb. 7.1). Es wurde später neu berechnet 1929 durch ALT (7), dann 1934/36 durch BAUR (16) und PHILIPPS (86), 1954 durch H. G. HOUGHTON, 1952 und wieder 1970 durch LONDON, jedes Mal mit verlässlicheren Zahlen.

Zwei wesentliche Teile dieses Schemas können heute direkt von Satelliten aus gemessen werden, nämlich die herausgehende terrestrische Strahlung und der Rückwärtsstrom der solaren Strahlung nach Reflexion in der Atmosphäre. Daher kennen wir auch die solare Strahlungsenergie, die in dem System Erde + Atmosphäre verbleibt, und zwar für verschiedene Orte gesondert.

Es ist ein enormer Fortschritt, diese Größen zu messen. Man kann die Strahlungsbilanz an bestimmten Orten messen und für relativ kurze Zeitintervalle von etwa 14 Tagen integrieren, wie es RASCHKE getan hat. Damit stellt sich Mügges und Simpsons Problem des Strahlungsbudgets synoptischer Systeme erneut als ein Problem, das der Lösung näher gerückt ist, aber diesmal kann die Lösung durch Messungen statt durch Berechnung gesucht werden. Damit erhebt sich auch die Frage, ob die terrestrische Emission des globalen Erd-Atmosphäre-Systems zwischen Perihel und Aphel der Erdbahn im gleichen Sinne variiert wie die Aufnahme solarer Strahlung. Dies ist keine akademische Frage, denn sie bedeutet, daß ein riesiger Wärmeverrat sich im Laufe eines Halbjahres ansammeln würde, wenn die globale Emission konstant bliebe.

Auch der untere Teil der atmosphärischen Strahlungsbilanz, das ist der Strahlungshaushalt an der Erdoberfläche, wird jetzt mehr und mehr studiert, vor allem durch lokale Messungen. Hierfür gibt es heute eine große Anzahl von verschiedenen Meßmethoden, die von der Internationalen Strahlungskommission 1956 in einem Vergleichsprogramm experimentell und auch theoretisch untersucht worden sind. Zu diesen Geräten gehören die Bilanzmesser von SUOMI und FRANSSILA, COURVOISIER, HOFMANN, SCHULZE, SKEIB und eine Reihe von anderen (siehe Titelbild). Einige der Instrumente werden nicht mehr gebaut, andere sind umkonstruiert worden, jedoch gibt es genügend viele verlässliche Methoden, die Bilanz der kurz- und langwelligen Strahlung, d. h. die Bilanz der von unten und oben eintreffenden Ströme in jedem Wellenlängengebiet genügend sauber zu messen, wenn die Geräte laufend überwacht und geeicht werden.

Im Zusammenhang mit der Strahlungsbilanz am Erdboden müssen wir einen Begriff erwähnen, der heute allgemein bekannt ist: die *Glashauswirkung* der Lufthülle. Man versteht darunter die Tatsache, daß die Sonnenstrahlung relativ ungeschwächt die Erdatmosphäre durchdringen kann (wolkenloser Himmel vorausgesetzt), aber effektiv nur wenig Wärmestrahlung den Boden verläßt, weil die Gegenstrahlung mit bis zu 80% der Emission des Bodens entgegengerichtet ist. Das hat zur Folge, daß die Temperatur am Boden viel höher bleibt, als sie ohne Vorhandensein einer Atmosphäre sein würde. Der Unterschied beträgt ungefähr 30 °. Das Gleiche ist in einem Glashaus der Fall, wo das Glas ebenfalls die Eigenschaft hat, alle kurzwellige Strahlung von außen hereinzulassen, aber die langwellige Strahlung nicht entweichen läßt sondern abschirmt. Glas ist für langwellige Strahlung oberhalb etwa 3 µm undurchlässig. Der Begriff der Glashauswirkung ist im Zusammenhang mit den Arbeiten von ARRHENIUS (11) über die Wirkung des Kohlendioxyds auf die Strahlung bekannt geworden und von ihm auch in diesem Sinne benutzt worden. Er verweist gelegentlich auf TYNDALL (110), POUILLET (87) und FOURIER (44), ohne genauere Zitate zu geben. Tyndall war zweifellos nicht der erste, der von der Glashauswirkung sprach. Pouillet verweist auf Fourier. Beide gebrauchen im Zusammenhang mit

ihren Studien über die Temperatur der Erde oftmals den Begriff einer „enveloppe“, die die Sonnenstrahlung durchläßt, aber ihrerseits Strahlung aussendet. Damit ist der Vorgang in der Atmosphäre gemeint und richtig erfaßt, aber weder das Wort Atmosphäre noch Glashaus fällt. Fourier verweist jedoch 1827 auf einen Versuch des berühmten Alpenforschers und Besteigers des Mont Blanc, de SAUSSURE (93), der ihm im Zusammenhang mit der Erklärung der Temperaturen wichtig erscheint. De Saussure stellte zwei Gläser (verres, ich vermute Wassergläser ohne Stiel) umgekehrt übereinander und maß bei Sonnenbeleuchtung die Temperaturen im innersten Glas. Diese stieg bis 110 ° (R) = 137 °C, im Zwischenraum war die Steigerung geringer. Ich glaube, hier ist die „Glashauswirkung“ zum ersten Male praktisch vorgeführt worden, nicht nur genannt oder berechnet.

Die Strahlungsbilanz ist die Ursache aller Wärmetransporte am und in den Boden, einschließlich des Übergangs von fühlbarer und latenter Wärme zwischen Atmosphäre und Boden und des Wärmetransports in den Untergrund. Durch diese Definition trennen wir klar die Begriffe der Strahlungsbilanz und der Wärmebilanz der Erdoberfläche, die mit der gleichen Bedeutung noch von HANN (53) in seiner Deklaration von 1899 gebraucht worden waren. Der erste Wissenschaftler, der das Wort Wärmebilanz der Oberfläche in unserem Sinne gebrauchte, war HOMEN (59). Ein großer Teil alles dessen, was wir heute Mikrometeorologie nennen, umfaßt die Probleme der Wärmebilanz oder des Wärmehaushaltes. Auch hier wieder hat ALBRECHT (4) bahnbrechende Arbeiten durchgeführt, der in der zweiten Periode seines wissenschaftlichen Schaffens Messungen auswertete und dies in einer bemerkenswert eindringlichen Weise tat. In einer großen Zahl von Untersuchungen studierte er den Wärmehaushalt an kontinentalen und maritimen Stationen, an polaren und Wüstenstationen und faßte dies alles zu einem geschlossenen Bild einer *Energieklimatologie* zusammen. BUDYKO's wundervoller Atlas des Wärmehaushalts der Erdkugel würde — meiner Meinung nach — nicht möglich geworden sein ohne die vorbereitenden Arbeiten von ALBRECHT.

Sir Napier SHAW (99) schrieb 1930 in seinem Manual of Meteorology: „Das vielleicht aufregendste Bild unserer Kenntnisse über die Strahlung ist das Fehlen jedes Hinweises auf die Verwendung von Strahlungsmessungen im täglichen Routinewetterdienst . . . noch gibt es irgend einen Platz dafür in dem internationalen telegraphischen Code (Wetterschlüssel)“. Im folgenden Kapitel entwickelt er jedoch einige Ideen, wie „man eine Gelegenheit anbieten könnte, unseren jetzt schlafenden Strahlungssinn zu erziehen, um so effektiv zu werden wie die Beaufort-Skala der Windstärke“.

Die Zeiten haben sich geändert. Als die Pläne für ein *Internationales Geophysikalisches Jahr* auf einer der Vorbereitungskonferenzen 1954 in Rom ausgearbeitet wurden, glaubten einige Strahlungsspezialisten noch, daß da eine gute Gelegenheit gekommen wäre, die Solarkonstante zu bestimmen. Damals wurde von Van MIEGHEM ein gut ausgeglichenes Programm für meteorologische Messungen während des IGJ vorgelegt. Die-

ses Programm schloß in der Hauptsache die Quellen, Senken, Umwandlungen und Transporte aller Energiearten in der atmosphärischen Dynamik ein. Eine wichtige Rolle war der Wärmebilanz an der Erdoberfläche zugemessen durch den Vorschlag, eine große Anzahl von Wärmebilanzstationen einzurichten. Ich glaube, diese Tatsache beleuchtet am besten die engen Beziehungen zwischen Strahlung und Dynamik, durch die unsere moderne atmosphärische Forschung charakterisiert werden kann.

In den bestentwickelten Modellen der numerischen Wettervorhersage, der allgemeinen Zirkulation oder des Klimas sind Strahlungsprozesse einbezogen, und ihr wichtiger Einfluß ist anerkannt. Aber es bleiben noch eine Menge ungelöster Probleme für Dynamiker und Strahlungsspezialisten. Durch Strahlungsprozesse wird verfügbare potentielle Energie in zonaler Anordnung aufgebaut, ebenso wie — zu einem geringeren Grade — in großräumigen Wirbelsystemen. Diese letzteren Unterschiede werden durch den Kontrast von Kontinenten und Meeren und ihren thermischen Charakteristiken

und durch verschiedene Wolkenbedeckung beeinflusst. Nach Umwandlung in kinetische Energie werden sich neue Felder von Bewölkung, Temperatur und Feuchtigkeit entwickelt haben und entsprechend neue Felder der Strahlungserwärmung oder -abkühlung in der Atmosphäre. Diese neuen Felder werden wieder verfügbare potentielle Energie aufbauen und damit einen Rückkopplungsmechanismus oder eine Art von Bremsung.

Alle diese Strahlungseinflüsse können sehr verschiedene Stärke in großskaligen und mittelskaligen Prozessen und Systemen haben. Es könnte sogar sein, daß die Verteilung der Bewölkung oder der Strahlungscharakteristiken der Erdoberfläche oder die direkte Sonnenstrahlung und langwellige Emission in der wolkenlosen Atmosphäre verschiedene Wichtigkeit für die großräumigen oder mittelräumigen Vorgänge haben. Wir glauben, ein gutes meteorologisches Empfinden für die verschiedene Bedeutung der Einflüsse zu haben. Empfindungen sind jedoch noch keine Beweise, und solche Beweise auszuarbeiten ist eine zukünftige Aufgabe für Dynamiker und Strahlungsleute.

8 Biographische Notizen über verstorbene oder über 80 Jahre alte Autoren

- (1) ABBOT, Charles Greely, geb. 1872, Astronom und Mitarbeiter von Langley, Direktor des Smithsonian Astrophysical Observatory, Washington.
- (2) AHLGRIMM, Franz, geb. 1889, Meteorologe, Ministerialrat in Berlin.
- (3) AIRY, Sir George Biddell, 1801—1892, Astronom, Direktor der Sternwarte Greenwich.
- (4) ALBRECHT, Fritz, 1896—1965, Meteorologe am Observatorium Potsdam, später in Australien.
- (5) ALDRICH, Loyal Blaine, 1884—1965, Astrophysiker, Mitarbeiter von Langley.
- (6) AL KINDI, Abu Jusuf Jakub Ibn Ishaq, 800 (Basra) bis 870 (Bagdad).
- (7) ALT, Eugen, 1878—1936, Konservator an der Bayerischen Landeswetterwarte, dann Direktor der Sächsischen Landeswetterwarte, Dresden.
- (8) ÄNGSTRÖM, Anders, geb. 1888, Meteorologe, Direktor des Meteorologischen Staatsinstitutes Stockholm.
- (9) ÄNGSTRÖM, Knut, 1857—1910, Professor der Physik an der Universität Upsala, Vater von (8)
- (10) ARAGO, Dominique François Jean, 1786—1853, Astronom, Professor der Analyse, Geodäsie und Sozialarithmetik in Paris, Sekretär des Längenbüros.
- (11) ARRHENIUS, Svante August, 1859—1927, Physiker, Professor in Stockholm.
- (12) ASCHKINASS, Emil, 1873—1909, Privatdozent für Physik in Berlin.
- (13) ASSMANN, Richard, 1845—1918, Arzt, Aerologe, Gründer und Direktor des Aeronautischen Observatoriums Lindenberg.
- (14) BABINET, Jacques, 1794—1872, Professor der Mathematik, zuletzt in Paris.
- (15) von BAHN-BERGIUS, Eva, 1874—1962, (Schülerin von K. Ängström) Dozentin an der Universität Upsala, Lehrerin an der Hochschule Brunnsvik.
- (16) BAUR, Franz, geb. 1887, Meteorologe, speziell für langfristige Witterungsvorhersage, Bad Homburg v.d.H.
- (17) BECKER, Herbert, 1906—1941, (Schüler von Hettner), Assistent bei Bothe in Gießen, Industriephysiker, starb an Blinddarmentzündung.
- (18) BEER, August, 1825—1863, Professor der Mathematik an der Universität Bonn.
- (19) BELLANI, Angelo, 1776—1853, Canonicus in Mailand.
- (20) BODA, Karl, 1889—1942, Astronom in Frankfurt (Main).
- (21) BOUGUER, Pierre, 1698—1750, Professor der Hydrographie, Mathematiker, Astronom, Geophysiker der Akad. d. Wissensch. in Paris.
- (22) BREWSTER, Sir David, 1781—1869, Pharmazeut, Jurist, Professor der Physik in Edinburgh.
- (23) BRUCKE, Ernst von, 1819—1892, Professor der Physiologie in Königsberg/Pr. und Wien.

- (24) BRUNT, Sir David, 1886—1965, Meteorologe, Professor der Meteorologie an der Universität London.
- (25) BUCERIUS, Hans, 1904—1955, Theoretischer Astronom in München.
- (26) BUCHWALD, Eberhard, geb. 1886, Professor der Physik in Jena.
- (27) BUSCH, Friedrich, 1851—1931, Gymnasialprofessor in Arnberg.
- (28) CABANNES, Jean, 1885—1959, Physiker, Professor in Marseille, dann Paris, Präsident des Bureau des Longitudes.
- (29) CAMPBELL of ISLAY, John Francis, 1821—1885, Privatmann in London.
- (30) CHWOLSON, Orest Danilowitsch, 1852—1934, Physiker, Professor in St. Petersburg.
- (31) CLAUSIUS, Rudolf, 1822—1888, Physiker, Professor in Würzburg und Bonn.
- (32) CROVA, André Prosper Paul, 1833—1907, Professor der Physik in Montpellier.
- (33) DEBYE, Peter, 1884—1966, Physiko-Chemiker, Professor in Utrecht, Göttingen, Berlin, Cornell Univ. Ithaca.
- (34) DESCARTES, René Seigneur du Perron, 1596 bis 1650, Philosoph, Physiker, Mathematiker, lebte meist in Holland, starb in Stockholm.
- (35) DINES, Lewen Henry George, 1883—1965, Meteorologe, Assistent Superintendent zuletzt in Kew Observatory bei London.
- (36) DINES, William Henry, 1855—1927, Meteorologe, Vater des Vorigen.
- (37) DORNO, Carl, 1865—1942, Meteorologe, Gründer und Leiter des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos.
- (38) DRAPER, John William, 1811—1882, Mediziner, Professor der Chemie und Physiologie in New York.
- (39) DRUMMOND, Andrew Jamieson, 1917—1972, Meteorologe, Leiter des Strahlungsdienstes im Südafrikanischen Wetterdienst, dann Chef-Wissenschaftler der Eppley-Laboratories.
- (40) EINSTEIN, Albert, 1879—1955, Theoretischer Physiker, Professor in Berlin und Princeton/N.J.
- (41) EMDEN, Robert, 1862—1940, Astrophysiker, Professor der Physik in München.
- (42) FALCKENBERG, Günther, 1879—1963, Professor der Physik und Meteorologie in Rostock.
- (43) FORBES, James David, 1809—1868, Professor der Physik in Edinburgh.
- (44) FOURIER, Jean Baptiste Joseph, 1768—1830, Offizier, Lehrer, später Präsident der Polytechnischen Schule.
- (45) FOWLE, Frederic Eugene, 1869—1940, urspr. Musiker und Philologe, dann Astrophysiker, Mitarbeiter von Langley.
- (46) FRAUNHOFER, Joseph von, 1786—1822, Optiker, Professor in München.
- (47) GOETHE, Johann Wolfgang von, 1749—1832, Dichter, Minister in Weimar.
- (48) GOLD, Ernest, geb. 1881, Meteorologe in London, Colonel.
- (49) GOVI, Gilberto, 1826—1889, Professor der Physik in Mantua, Florenz, Turin, Neapel.
- (50) GOWAN, Edward Hunter, 1901—1959, Professor der Physik an der Universität von Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- (51) HADLEY, George, 1685—1768, Meteorologe.
- (52) HALLEY, Edmund, 1656—1742, Astronom, Geophysiker, Royal Astronomer in London.
- (53) HANN, Julius von, 1839—1921, Professor der Physik und Direktor der Meteorologischen Zentralanstalt Wien, dann Professor der kosmischen Physik in Wien.
- (54) HERGESELL, Hugo, 1859—1938, Meteorologe, Direktor des Aeronautischen Observatoriums bei Lindenberg.
- (55) HERSCHEL, Sir (Frederic) William, 1738—1822, Musiker und Astronom in Slough, Vater von (56)
- (56) HERSCHEL, Sir John Frederic William, 1792 bis 1871, Astronom in London.
- (57) HESSELBERG, Theodor, 1885—1966, Meteorologe, Direktor des Norwegischen Meteorologischen Instituts, Blindern bei Oslo.
- (58) HETTNER, Gerhard, 1892—1968, Professor der Theoretischen Physik in München.
- (59) HOMEN, Theodor, 1858—1923, Leiter der finnischen hydrographisch-biologischen Meeresuntersuchungen, Professor der angewandten Physik in Helsingfors.
- (60) HUMBOLDT, Alexander Freiherr von, 1769—1859, Geograph und Naturforscher in Paris und Berlin.
- (61) HUMPHREYS, William Jackson, 1862—1949, Professor für meteorologische Physik in Washington, D.C.
- (62) HURION, Louis Alphonse, 1849—?, Professor der Physik in Cluny und Dijon.
- (63) JENSEN, Christian Albrecht Theodor, 1867—1942, Physiker an den Hamburger Physikalischen Staatsanstalten, Professor an der Universität Hamburg.
- (64) KAMAL al DIN ABU al HASAN al FARISI, ? bis 1320 (Vollkommenheit der Religion, Vater des Hasan aus Fars).
- (65) KEPLER, Johannes, 1571—1630, Astronom in Graz, Prag, Sagan.
- (66) KIMBALL, Herbert Harvey, 1862—1944, Strahlungsforscher im US-Wetterbüro, Washington, D.C., dann Berater am Blue Hill Observatory.
- (67) KOTB al DIN ABU al TANA MAHMUD IBN MASUD al SCHIRASI, 1236—1311 (Pol der Religion, Vater des Preises, Mahmud Sohn des Masud aus Schiras), lebte in Täbris.
- (68) LADENBURG, Rudolf Walter, 1882—1952, Physiker, Professor in Breslau, Berlin, Princeton/N.J.

- (69) LAMBERT, Johann Heinrich, 1728—1777, Physiker, Mathematiker, Astronom, Leibarzt Friedrichs des Großen in Berlin.
- (70) LANGLEY, Samuel Pierpont, 1834—1906, Astronom, Sekretär der Smithsonian Institution, Direktor des Astrophysical Observatory.
- (71) LEONARDO da VINCI, 1452—1519, Maler, Bildhauer, Naturforscher, Techniker.
- (72) LINKE, Franz, 1878—1944, Meteorologe und Geophysiker, Professor in Frankfurt (Main).
- (73) MARIE-DAVY, Edmé Hippolyte, 1820—1893, Arzt, Physiker, Chemiker, Astronom in Paris, Direktor des Meteorologischen Observatoriums Montsouris.
- (74) MARIOTTE, Edmé, 1620—1684, Prior von St. Martin sous Beaune bei Dijon, Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Paris.
- (75) MAYER, Johannes Tobias, 1723—1762, Professor der Ökonomie und Mathematik in Göttingen.
- (76) MEECH, Levi Witter, 1821—1912, Mathematiker, Actuary of life assurance statistics.
- (77) MELLONI, Macedonio, 1798—1854, Professor der Physik in Parma, Direktor des Konservatoriums der Künste und Gewerbe in Neapel, Direktor des Meteorologischen Observatoriums a. d. Vesuv, starb an der Cholera.
- (78) MICHELSON, Wladimir Alexandrowitsch, 1860 bis 1927, Professor der Physik und Meteorologie an der Landwirtschaftlichen Hochschule Petrowskoje-Rasumowskoje bei Moskau.
- (79) MIE, Gustav, 1868—1957, Professor der Experimentalphysik in Freiburg/Br.
- (80) MILANKOWITSCH, Milutin, 1879—1958, Astronom in Belgrad.
- (81) MILCH, Wilhelm, 1900—1927, Privatdozent für Meteorologie und Leiter der Flugwetterwarte in Frankfurt (Main), starb durch Flugzeugabsturz.
- (82) MILNE, Edward Arthur, 1896—1950, Mathematiker und Astrophysiker in Oxford und London.
- (83) MULLER, Johannes, 1809—1875, Physiker in Freiburg/Br., bekannt als Mitverfasser des Lehrbuches von Müller und Pouillet.
- (84) NEWTON, Sir Isaak, 1643—1727, Professor der Mathematik in Cambridge, Aufseher der königlichen Münze in London.
- (85) PASCHEN, Friedrich, 1865—1947, Physiker, Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin.
- (86) PHILIPPS, Horst, 1905—1962, Professor für Meteorologie, Direktor des Meteorologischen Dienstes der DDR in Potsdam.
- (87) POUILLET, Claude-Servais Mathias, 1791—1868, Professor der Physik, Direktor des Conservatoire des Arts-et-Métiers.
- (88) RANDALL, Harrison McAllister, 1870—1969, Professor der Physik an der Universität von Michigan in Ann Arbor.
- (89) RAYLEIGH, John William Strutt, 3rd Baron, 1842 bis 1919, Physiker, Professor in Cambridge, Direktor des Davy-Faraday-Forschungslaboratoriums, London.
- (90) REICHE, Fritz, 1883—1969, Professor der Theoretischen Physik in Berlin, Breslau und New York.
- (91) RUBENS, Heinrich, 1865—1922, Physiker, Professor in Berlin.
- (92) RUMFORD, Sir Benjamin Thompson, Graf von, 1753—1814, Physiker, amerikanischer Offizier, englischer Oberst, bayerischer Generalleutnant.
- (93) SAUSSURE, Horace Bénédicte de, 1740—1799, Geologe und Physiker in Genf, Alpenforscher.
- (94) SCHMID, Ernst Erhard, 1815—1885, Professor der Naturgeschichte in Jena, Mitdirektor des Physiologischen Institutes, Direktor der Anstalt für Mineralogie.
- (95) SCHNAIDT, Fritz, 1909—1944, Dozent für Meteorologie in München.
- (96) SCHWARZSCHILD, Karl, 1873—1916, Astronom, Direktor der Sternwarten in Göttingen und Potsdam.
- (97) SEEBECK, August, 1805—1849, Physiker, Direktor der Technischen Bildungsanstalt in Dresden, Professor in Leipzig.
- (98) SEKERA, Zdenek, 1905—1973, Meteorologe, Professor an der Universität von Californien in Los Angeles.
- (99) SHAW, Sir (William) Napier, 1854—1945, Meteorologe, Direktor des Meteorological Office, London.
- (100) SIMPSON, Sir George Clarke, 1878—1965, Meteorologe in Indien, antarktische Expedition, Direktor des Meteorological Office, London.
- (101) SMOLUCHOWSKI, Maryan Ritter von Smolan, 1872—1917, Professor der Experimentalphysik in Krakau.
- (102) SORET, Jacques Louis, 1827—1890, Professor der Physik und medizinischen Physik in Genf.
- (103) STOKES, Sir George Gabriel, 1819—1903, Mathematiker und Physiker, Cambridge/England.
- (104) STUVE, Georg, 1889—1935, Meteorologe in Lindenberg, Professor der Meteorologie in Frankfurt (Main), Referent im Reichsamt für Wetterdienst, Berlin.
- (105) SVANBERG, Adolf Ferdinand, 1806—1857, Professor der Physik und Mechanik in Upsala.
- (106) TEISSERENC de BORT, Léon Philippe, 1855—1913, Direktor des Observatoire de Météorologique dynamique in Trappes bei Paris.
- (107) THEODORICUS TEUTONICUS, ca. 1250—1310, Dominikaner, zweimal zum Ordensprovinzialrat von Deutschland gewählt.
- (108) THOMPSON, siehe Rumford.
- (109) TICHANOWSKI, Iwan Iwanowitsch, 1893—1903, Leiter der Optischen Station Simferopol/Krim.

- (110) TYNDALL, John, 1820—1893, Physiker, Professor in London.
- (111) VIOLLE, Jules, 1841—1923, Professor der Physik am Conservatoire Nationale des Arts et Métiers, Paris.
- (112) WELLS, William Charles, 1757—1817, Arzt in Südcarolina, USA, und London,
- (113) YOUNG, Thomas, 1773—1829, Arzt, Naturforscher, Physiker in London.

9 Historische Literatur

Aufsätze und Bücher über die Geschichte der Meteorologie und Physik

- A. Ångström: Survey of the activities of the Radiation Commission of the International Meteorological Organisation and of the International Union of Geodesy and Geophysics. *Tellus* **1**, No. 3, 65—71, 1949.
- H. G. Cannegieter: The history of the International Meteorological Organisation 1872—1951. *Annalen der Meteorologie*, Neue Folge Nr. 1. Offenbach 1963, 280 S.
- O. Chwolson: Über den gegenwärtigen Zustand der Actinometrie. *Repertorium für Meteorologie*, red. v. H. Wild. Band XV, No. 1. St. Petersburg 1892, 166 S.
- G. Hellmann (Hrsg.): Neudrucke No. 14. *Meteorologische Optik 1000—1836*. Berlin, A. Asher, 1902, 107 S.
- J. N. Howard: John William Strutt, Third Baron Rayleigh. *Applied Optics* **3**, 1091—1101, 1964.
- D. Menzel (Hrsg.): Selected papers on the transfer of radiation. New York, Dover Publications, 1966, 269 S.
- W. E. K. Middleton: Random reflections on the history of atmospheric optics. *Journal Optical Society America* **50**, 97—100, 1960.
- F. Möller: Stand und Probleme der meteorologischen Strahlungsforschung. *Nova Acta Leopoldina*, N.F. **30**, Nr. 173, 57—65, 1965.
- B. Neis: Fortschritte in der meteorologischen Forschung seit 1900. Frankfurt (Main), Akademische Verlagsgesellschaft 1956, 238 S.
- F. Rosenberger: Die Geschichte der Physik, 1.—3. Bd. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1882/84/87, 175+406+826 S.
- G. V. Rosenberg: Lichtstreuung in der Erdatmosphäre. Fortschritte in den physikalischen Wissenschaften, *Akad. Wiss. U.d.S.S.R.* **71**, 173—213, 1960 (russisch).
- K. Schneider-Carius: *Wetterkunde-Wetterforschung. Geschichte ihrer Probleme und Erkenntnisse in Dokumenten aus drei Jahrtausenden*. Freiburg/München, Verlag K. Alber, 1955, 423 S.
- K. Schneider-Carius: Geschichtlicher Überblick über die Meteorologie. In F. Linke u. F. Baur, *Meteorologisches Taschenbuch*, Neue Ausg. I, 2. Aufl., Leipzig, Akadem. Verlagsgesellschaft Geest & Portig 1962, 662—708

Sir Napier Shaw: *Manual of Meteorology*, Vol. I. *Meteorology in History*. Cambridge, University Press 1932. 343 S.

J. Violle: Bericht über die Strahlung. Bericht des Internationalen Meteorologischen Komitees, Versammlung zu St. Petersburg 1899, Anhang VIII. Berlin, A. Asher, 1903, 38—60.

Artikel und Bücher mit Bemerkungen über historische Entwicklungen oder umfangreichen Literaturverzeichnissen über atmosphärische Strahlung.

- H.-J. Bolle: Infrarotspektroskopie als Hilfsmittel und Gegenstand meteorologischer und planetarischer Forschung. *Forschungsbericht W 67-17 des BMwF*. München 1967. 324 S.
- D. Brunt: *Physical and dynamical meteorology*. Cambridge, University Press 1934. 411 S.
- W. M. Elsasser: Heat transfer by infrared radiation in the atmosphere. *Harvard Meteorolog. Studies* No. 6. 1942.
- S. Flügge, J. Bartels (Hrsg.): *Handbuch der Physik*, Bd. 48, Geophysik II. Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer-Verlag 1957. 1045 S.
enthält:
F. Möller, Strahlung in der unteren Atmosphäre, S. 155—253.
W. E. K. Middleton, Vision through the atmosphere, S. 254—287.
Z. Sekera, Polarization of skylight, S. 288—328.
J. Bricard, Diffusion des radiations par les gouttes d'eau en suspension dans l'atmosphère, S. 329—369.
- W. L. Godson: *Atmospheric radiation*. WMO No. 38, TP. 13, Technical Note No. 8, 1955. 32 S.
- R. M. Goody: *Atmospheric radiation I, Theoretical Basis*. Oxford, Clarendon Press 1964. 436 S.
- W. J. Humphreys: *Physics of the air*. Philadelphia, J. B. Lippincott 1920. 665 S.
- K. Ya. Kondratyev: Radiative heat exchange in the atmosphere. Oxford etc., Pergamon Press 1965. 411 S.
- K. Ya. Kondratyev: *Radiation in the atmosphere*. London, New York, Academic Press 1969. 912 S.
- F. Linke und F. Möller (Hrsg.): *Handbuch der Geophysik*, Band VIII, *Atmosphärische Strahlungsforschung*. Berlin-Nikolassee 1942—1961. 1102 S.
enthält:

- M.-A. Schirmann, Theorie der Zerstreuung, Extinktion und Polarisation des Lichtes in der Atmosphäre. S. 120—238.
- F. Linke, Die kurzwellige Himmelsstrahlung. S. 239 bis 414.
- P. Gruner, Dämmerungserscheinungen. S. 432—526.
- Chr. Jensen † und R. Süring, Die Polarisation des Himmelslichtes. S. 527—620.
- F. Linke und F. Möller, Langwellige Strahlungsströme in der Atmosphäre und die Strahlungsbilanz. S. 651—722.
- F. Volz, Optik des Dunstes, S. 822—894.
- F. Volz, Der Regenbogen, S. 943—1026.
- T. F. Malone (Hrsg.): Compendium of Meteorology. Amer. Meteor. Society, Boston 1951. 1334 S. enthält:
- S. Fritz, Solar radiant energy and its modification by the earth and its atmosphere. S. 13—33.
- F. Möller, Long-wave radiation. S. 34—39.
- A. Ångström, Actinometric measurements. S. 50 bis 57.
- H. Neuberger, General meteorological optics. S. 61—78.
- Z. Sekera, Polarization of skylight. S. 79—90.
- W. E. K. Middleton, Visibility in meteorology. S. 91—97.
- J. M. Pernter und F. M. Exner: Meteorologische Optik, 2. Ausg. Wien und Leipzig, W. Braumüller 1922. 907 S.
- E. E. Schmid: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig, L. Voss 1860. 1009 S.
- Sir Napier Shaw: Manual of Meteorology, Vol. III. The physical processes of weather. Cambridge, University Press 1930. S. 103—204.
- G. C. Simpson: Further studies in terrestrial radiation. Memoirs Royal Meteorological Society Vol. III, No. 21. 26 S.

Institute stellen sich vor

Die Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braunschweig des Deutschen Wetterdienstes



Das neue Dienstgebäude der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Braunschweig des Deutschen Wetterdienstes

Die Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braunschweig, die als Dienststelle mit überregionalen Aufgaben dem Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes unmittelbar untersteht, ist eine relativ junge Institution. Ihre Anfänge gehen auf das Jahr 1954 zurück, als die vor 25 Jahren gegründete Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode sich bei der Durchführung ihrer wissenschaftlichen

Aufgaben in zunehmendem Maße mit agrarmeteorologischen Problemen konfrontiert sah, die eine enge Zusammenarbeit mit der Anstalt Deutscher Wetterdienst angezeigt erscheinen ließen. Zwar gab es in Braunschweig schon mehr als ein Jahrhundert lang meteorologische Beobachtungen, und nach dem 2. Weltkrieg hatte eine amtliche Wetterstation ihren Betrieb in Braunschweig aufgenommen, doch genügte

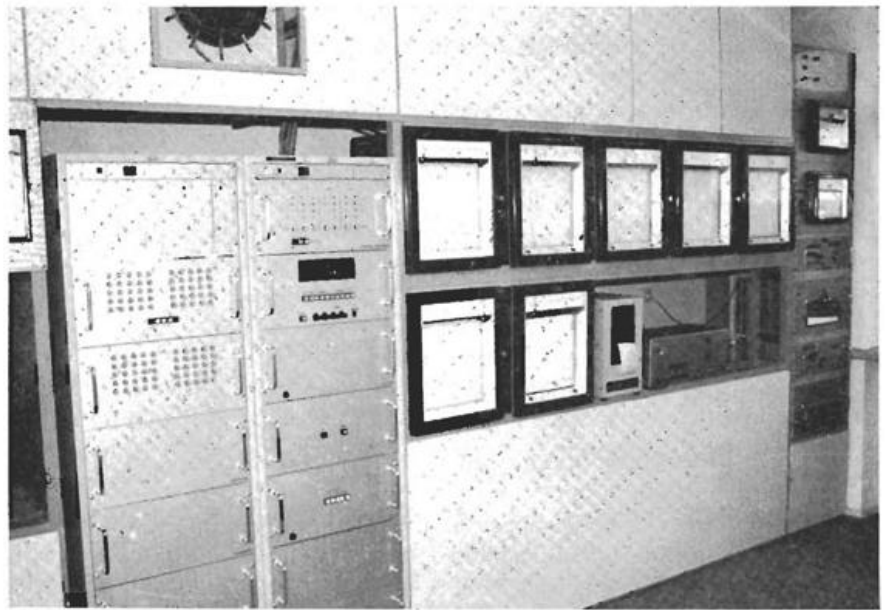
dies den wissenschaftlichen Anforderungen nicht. Mit der Verlegung der Wetterstation auf das Gelände der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, ihrer Besetzung mit einem Agrarmeteorologen und ihrem Ausbau zu einer Agrarmeteorologischen Versuchs- und Beratungsstelle wurde 1954 ein Anfang gemacht. Die wachsende Zahl der wissenschaftlichen Aufgaben, die sich aus der Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt für Landwirtschaft ergaben, sowie Forschungsaufträge des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten bzw. der Deutschen Forschungsgemeinschaft führten im Laufe der folgenden Jahre zu einer personellen Verstärkung der Dienststelle und schließlich 1965 zu ihrer Umwandlung in eine Agrarmeteorologische Forschungsstelle. Der kürzlich fertiggestellte, im Frühjahr 1972 bezogene Institutsneubau auf dem Gelände der Forschungsanstalt für Landwirtschaft kann als ein gewisser äußerer Abschluß dieser 1954 in Gang gesetzten Entwicklung gesehen werden.

Die gegenwärtige Struktur der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Braunschweig entspricht der Aufgabenstellung, die sich aus ihrer Entstehungsgeschichte ergeben hat, d. h. der Aufgabe, agrarmeteorologische Forschung für den Acker- und Pflanzenbau zu treiben in enger Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, wie auch mit der ebenfalls in Braunschweig beheimateten Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, wobei sich zwangsläufig auch Kontakte zu verschiedenen Instituten der Technischen

Universität Braunschweig und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig ergeben. Darüber hinaus ist die Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braunschweig zuständig für die agrarmeteorologische Beratung im Bereich des Wetteramtes Hannover.

Diese Aufgaben sind auf drei Sachgebiete verteilt, denen jeweils ein Wissenschaftler als Sachgebietsleiter vorsteht. Dem Sachgebiet „Mikrometeorologie“ fällt derjenige Aufgabenbereich zu, der im übertragenen Sinne als agrarmeteorologische Grundlagenforschung bezeichnet werden kann, da hier das Schwergewicht mehr auf der physikalischen Seite liegt. Untersuchungen über den Strahlungs-, Wärme- und Wasserhaushalt des Bodens und der bodennahen Luftschicht gehören ebenso dazu, wie mikroklimatische Untersuchungen in Kulturpflanzenbeständen und Untersuchungen zum Wärme- und Wasserhaushalt von Einzelpflanzen und Pflanzenteilen, wobei alle Arbeiten auf konkrete Fragestellungen der Landbauforschung ausgerichtet sind. Naturgemäß erfordern derartige Untersuchungen einen erheblichen meßtechnischen Aufwand, wobei nicht immer auf handelsübliches Gerät zurückgegriffen werden kann. Daher ist diesem Sachgebiet ein Arbeitsgebiet Meßtechnik zugeordnet, das sich neben der Betreuung der meßtechnischen Anlagen auch der Entwicklung und Erprobung spezieller agrarmeteorologischer Meßeinrichtungen widmet und sich moderner Methoden der Elektronik zur Datenerfassung und Datenverarbeitung bedient.

Die Tätigkeit des Sachgebietes „Experimentelle Agrarmeteorologie“, die naturgemäß in engem Zusammenhang steht mit der des vorgenannten Sachgebietes, zielt bereits mehr in die Anwendung hinein. Hier sind es im wesentlichen zwei Aufgabengruppen, die in Zusammenarbeit mit den verschiedenen Instituten der Forschungsanstalt für Landwirtschaft und der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft und anderen Institutionen bearbeitet werden. Dies sind einmal Probleme des Einflusses meteorologischer Faktoren auf Wachstum, Ertrag und Qualität landwirtschaftlicher Kulturpflanzen und zum anderen Fragen der Abhängigkeit pflanzlicher und tierischer Schädlinge an Kulturpflanzen von der Witterung. Für die hierbei notwendigen Freilandversuche steht der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle ein eigenes kleines Versuchsfeld zur Verfügung, das die Möglichkeit bietet, bestimmten Einzelfra-



Teilansicht der Meßzentrale mit Instrumentenwand und Analog-Digital-Anlage

gen intensiver nachzugehen, als dies im Großversuch möglich ist.

Das dritte Sachgebiet „Beratungsverfahren und Beratung“ schließlich verfolgt eine rein praktische Zielsetzung. Hier geht es einmal darum, Methoden zu entwickeln, welche die Umsetzung agrarmeteorologischer Erkenntnisse in praktische Verfahren zur Beratung der Landwirtschaft ermöglichen. Zum anderen obliegt diesem Sachgebiet die agrarmeteorologische Beratungs- und Auskunftstätigkeit für den Bereich des Wetteramtes Hannover sowie die Durchführung des allgemeinen agrarmeteorologischen Beobachtungs- und Meldedienstes. Bedingt durch die besonderen landwirtschaftlichen Gegebenheiten des niedersächsischen Raumes steht hier das Problem der künstlichen Feldberechnung im Vordergrund. Ein in Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt für Landwirtschaft und der Landwirtschaftskammer Hannover entwickelter Beratungsdienst für die Feldberechnung, dem rund 500 landwirtschaftliche Betriebe mit ca. 80 000 ha Berechnungsfläche angeschlossen sind, arbeitet seit mehreren Jahren mit beachtlichem Erfolg.

Um das relativ breite Spektrum der wissenschaftlichen Tätigkeit der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Braunschweig zu verdeutlichen, seien einige der gegenwärtig laufenden Forschungsarbeiten kurz aufgezählt, die zudem zeigen, wie die Arbeiten in den einzelnen Sachgebieten miteinander verzahnt sind und sich gegenseitig ergänzen. So haben z. B. die seit mehreren Jahren in Zusammenarbeit mit dem Institut für Bodenbiologie der Forschungsanstalt für Landwirtschaft lau-

fenden Untersuchungen zur Frage des Einflusses bodenklimatischer Faktoren auf den Abbau organischer Substanz im Boden zu einem speziellen mikrometeorologischen Untersuchungsprogramm geführt. Ausgehend von der Erkenntnis, daß das komplexe System physikalischer, chemischer und biologischer Vorgänge im Boden und seine Veränderung unter dem Einfluß von Kulturmaßnahmen von entscheidender Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit und damit für Ertrag und Qualität der Kulturpflanzen ist, werden Untersuchungen zur modellmäßigen Erfassung der Vielfältigkeit der Wechselbeziehungen im Energiehaushalt des Bodens unter Berücksichtigung von Bodenbiologie und Bodenmorphologie durchgeführt. Dabei wird versucht, Modellvorstellungen über den Wärme- und Wassertransport im Boden unter dem Einfluß der durch unterschiedliche Bodenbehandlung sich verändernden physikalischen Bodeneigenschaften quantitativ zu realisieren. Diese Arbeiten fügen sich nahtlos ein in die Vorhaben des Sonderforschungsbereichs Hydrologie und Kulturtechnik (Wasserhaushalt und Bodennutzung) der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der — nach Anerkennung durch den Wissenschaftsrat — in Braunschweig gegründet wurde, und an dem neben den Instituten für Wasserbau und für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig und verschiedenen Instituten der Forschungsanstalt für Landwirtschaft auch die Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braunschweig beteiligt ist. Dieser wird hierbei zusammen mit der Forschungsanstalt für Landwirtschaft die Aufgabe

zufallen, grundsätzliche Untersuchungen zur Quantifizierung des Einflusses meteorologischer, bodenphysikalischer und pflanzenphysiologischer Parameter auf die Verdunstungsvorgänge durchzuführen, die Steuerungswirkung der Einflußkomponenten abzuschätzen und ein thermodynamisches Modell des Wasserhaushalts von Boden und Pflanze zu entwickeln, aus dem sich Richtwerte für die Bewässerung vor allem auch in ariden und semiariden Gebieten ableiten lassen, wofür auch Messungen an Außenstationen in Saudi-Arabien, Sambia und Peru zur Verfügung stehen werden. Untersuchungen über den Einfluß des Energiehaushalts auf die Produktivität von Kulturpflanzen unter Berücksichtigung des Standortanspruchs, denen das Problem der intraspezifischen Konkurrenz der Pflanzen zugrunde liegt, spielen gleichfalls in diesen Fragenkomplex hinein.

Der zunehmende Getreideanteil in der Fruchtfolge wirft in der deutschen Landwirtschaft zusätzliche Probleme auf, so z. B. das der Getreidekrankheiten und das des Getreideauswuchses. Während derzeit auf der Grundlage inzwischen abgeschlossener Untersuchungen zur Witterungsabhängigkeit des Getreidehalmsbruchs ein Verfahren zur Bestimmung des witterungsmäßig günstigsten Zeitpunktes für die An-

wendung systemischer Fungizide zur Eindämmung dieser Krankheit erprobt wird, sind zur Frage des Getreideauswuchses und eines agrarmeteorologisch gesteuerten Auswuchswarndienstes neue umfangreiche Untersuchungen zum Problem Witterung und Keimruhe aufgenommen worden, da ein in den Niederlanden entwickeltes Verfahren der Auswuchsvorhersage sich in der Bundesrepublik als nicht brauchbar erwies.

Die Arbeiten der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Braunschweig sind naturgemäß eingebettet in das Gesamtkonzept der agrarmeteorologischen Forschung des Deutschen Wetterdienstes, das von der Fachabteilung Agrarmeteorologie beim Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes gesteuert und koordiniert wird, so daß Überschneidungen und Doppelarbeit an den einzelnen Forschungsstellen vermieden werden und die Ausrichtung der Forschungsarbeit auf die Bedürfnisse der landwirtschaftlichen Praxis gewahrt bleibt.

Die räumliche Eingliederung der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Braunschweig in die Forschungsanstalt für Landwirtschaft durch den bereits erwähnten Institutsneubau auf dem Gelände dieser Anstalt schafft für die Arbeit dieser Dienststelle des Deut-

schen Wetterdienstes die denkbar besten Voraussetzungen, da auf dem über 400 ha großen Gelände mit 12 Forschungsinstituten praktisch fast der Gesamtbereich der landwirtschaftlichen Forschung vertreten ist. Bereits bei der Planung des Gebäudes wurde der Struktur und der Aufgabenstellung der Dienststelle Rechnung getragen dadurch, daß die räumliche Aufteilung nach zusammenhängenden Raumgruppen entsprechend den Sachgebieten und Arbeitsgebieten erfolgte und die Belange moderner Meßtechnik durch bestimmte Sondereinrichtungen, wie z. B. eine Großbatterieanlage für störungsfreie Schwachstromversorgung der Meßzentrale, berücksichtigt wurden. Daß die gärtnerischen Außenanlagen so gestaltet wurden, daß sie zugleich den Belangen des phänologischen Beobachtungsdienstes Rechnung tragen, sei am Rande erwähnt, ebenso die Tatsache, daß dank des Entgegenkommens der Forschungsanstalt für Landwirtschaft jetzt ein eigenes Versuchs- und Meßfeld in unmittelbarer Anbindung an das Institutsgebäude zur Verfügung steht. Mit der Überwindung des bisherigen Provisoriums sind so vom Deutschen Wetterdienst günstigste Voraussetzungen für eine effektive agrarmeteorologische Forschungsarbeit geschaffen worden.

H. SCHRÖDTER, Braunschweig

Zum Berufsbild des Meteorologen und Wetterberaters

Gutachter vor Gericht

Ich gebe gerne zu, die Sicherheit, die ich nach außen hin an den Tag legte, als ich zum ersten Male die Rolle eines Sachverständigen vor Gericht übernehmen mußte, war nur scheinbar. Meine innere Erregung wollte ich aber auf keinen Fall preisgeben. Es wird wohl vielen Kollegen so ergangen sein wie mir, daß nach dem ersten Satz die Befangenheit verschwunden ist und man nichts mehr von der ungewohnten Umgebung merkt. Denn ungewohnt ist sie doch sicherlich den meisten unseres Fachgebietes; wer hat schon mit Gerichten zu tun gehabt?

Ich besann mich zwar, daß vor langer Zeit ein Klassenkamerad, der im Zuge seiner juristischen Ausbildung als Rechtsanwalt fungieren mußte, mich bewog, seine Verteidigungsrede beim Amtsgericht der thüringischen Klein-

stadt, in der wir Abitur gemacht hatten, zu begutachten. Noch heute ist mir in Erinnerung der große dunkle Raum, vorn erhöht sitzend der Richter, zur Seite der Staatsanwalt, der Gerichtsschreiber und demgegenüber der Angeklagte mit seinem Verteidiger sowie die Zeugen, die fallweise hereingerufen wurden. Hinten im Saal, durch eine Barriere getrennt, saßen die Zuschauer, unter denen ich mich befand. Von der Verhandlung weiß ich nichts mehr, nur daß das ganze Fluidum einen erregenden Eindruck auf mich machte und eine gewisse Feierlichkeit über der Verhandlung lag.

Als sich bei mir nach dem Krieg Schwerhörigkeit einstellte, hielt man es an höherer Stelle für richtig, mich aus vorderer Linie zurückzuziehen. Ich vertauschte die synoptische Wetterkar-

te mit der Klimatabelle und landete bei einem Wetteramt im Klimadezernat.

Die Beschäftigung mit dem „Zahlenfriedhof“ war mir nicht unbekannt, da ich meine Erfahrungen mit ihm schon an der Thüringischen Landeswetterwarte gesammelt hatte. Was mich im Vergleich mit jener lange zurückliegenden Zeit erstaunte, war der Umfang, den die Bearbeitung von meteorologischen Gutachten ausmachte. Betrug er früher vielleicht 15 bis 20 % der dienstlichen Tätigkeit, so war er jetzt auf 55 bis 60 % gestiegen. Die immerwährende Zeitnot brachte mich auf den Gedanken einer Rationierung. Die meisten Anforderungen von Gutachten beziehen sich auf Straßenzustand oder Sichtverhältnisse während der Dämmerung. Ich stellte mir einige Paradefälle zusammen, die alle Einzelheiten und Gesichtspunkte enthielten, soweit sie mir für die Erstellung der Gutachten wichtig erschienen. Nun konnte ich jeweils darauf zurückgreifen- ohne Gefahr zu laufen, diesen oder jenen Faktor unerwähnt gelassen zu haben.

Die Anforderungen auf Gutachten kommen von Privatpersonen, Versicherungsgesellschaften, Krankenkassen und Gerichten. Bei Anfragen von Gerichten ärgerte mich häufig die präzierte Form, ob z. B. eine Person auf 45 m Entfernung hätte erkannt werden können. Ich sprach deshalb bei Gelegenheit einmal mit einem mir bekannten Juristen darüber, der mir empfahl, doch einen kurzen Artikel über diese Verhältnisse in der Richterzeitung erscheinen zu lassen.

Diese Arbeit muß Widerhall gefunden haben, denn nach einiger Zeit erging an mich die Bitte, in einem Kreis von Juristen über das Problem zu sprechen, in denen die Meteorologie Rechtsfragen berühre. Ich kam dieser Aufforderung gern nach und kann rückschauend sagen, daß der Abend erfolgreich verlief.

Es ist nicht verwunderlich, wenn man feststellt, was Laien alles nicht wissen. Man sollte deshalb in einem Gutachten nichts voraussetzen, um zu vermeiden, daß aus den Aussagen falsche Schlüsse gezogen werden. Das betrifft alle Teilgebiete der Meteorologie, selbst die einfachsten wie die Wirkung der Glätte auf einer Schneedecke, der Druck des Windes bei verschiedenen Geschwindigkeiten, die Beschaffenheit des Nebels und die davon abhängige Sichtweite und vieles andere mehr.

Im Laufe dieses Abends kam das Gespräch auch darauf, daß man zwar schon Gutachten von mir in den Händen gehabt, mich aber als Gutachter noch nicht gesehen hätte. Nach dem Grund gefragt gab ich an, daß meine Schwerhörigkeit in einem öffentlichen Gerichtsverfahren hindernd wirke. Das verneinte man und bot mir jede Hilfe an. So erfuhr ich, daß man bei auswärtigen Verhandlungen in bestimmten Fällen auch bei einem hiesigen Gericht von einem Einzelrichter als Sachverständiger vernommen werden kann. Das aufgestellte Protokoll wird dann bei der eigentlichen Verhandlung gelesen, ohne daß ich anwesend sein muß. Von dieser Möglichkeit habe ich daraufhin mehrfach Gebrauch gemacht. Die Bedenken wegen meiner Schwerhörigkeit zerstreute man mit dem Hinweis, daß ich den Richter vor der Verhandlung darauf aufmerksam machen sollte, er würde in jedem Fall Rücksicht nehmen. Ich kann heute sagen, daß mir niemals Unannehmlichkeiten erwachsen sind. Ich gab also damals meine Zusage und habe von dann ab meine Gutachten auch vor Gericht vertreten.

Als Sachverständiger wird man erst im Laufe der Verhandlung hinzugezogen.

Der Richter stellt die Personalien fest. Bei der Vereidigung ist es wichtig bekanntzugeben, daß man nicht als Zeuge, sondern als Sachverständiger geladen ist. Danach beginnt die Vernehmung zu den strittigen Fragen durch den Richter, gelegentlich schaltet sich auch der Verteidiger ein. Da die ersten beiden Verhandlungen, an denen ich teilnahm, zivilrechtlicher Art waren, hatte ich mich darauf eingestellt, es nur mit diesen beiden zu tun zu haben. Deshalb war ich erstaunt, daß beim nächsten Mal ein Dritter Fragen an mich richtete. Erst nach einer Weile wurde mir klar, daß dies der Staatsanwalt sei und die Verhandlung eine Strafsache betraf.

Ich hielt es immer für außerordentlich wichtig, daß man als Sachverständiger Einblick in die Akten bekommt, weil man aus ihnen, lediglich aus ihnen, Zusammenhänge und Einzelheiten, die zu dem Gerichtsfall führten, erfährt. Schon allein die Zeugenaussagen, die von der Polizei protokolliert wurden, liefern bedeutsame Aufschlüsse. Wenn die Aussagen des Sachverständigen zur Rechtsfindung beitragen, — und nur dazu dienen sie — so kann das Eingehen auf bestimmte Punkte diesen Weg erleichtern. Denn eine einflechtende Bemerkung über diesen oder jenen Aspekt vermag entscheidende Klärung herbeizuführen.

Ich hielt es immer für zweckmäßig, Unterlagen mitzubringen, sei es eine Klimatabelle, einen Registrierstreifen oder dergleichen, und ich habe die Erfahrung gemacht, daß ihre Erklärung das Verständnis erleichtert. Sie werden als Dokument anerkannt und ersparen manche umständliche Definition. Ich trug mich nebenher mit dem Gedanken, die Herren wissen zu lassen, wie mannigfaltig die Unterlagen sind, mit denen sich der meteorologische Sachverständige beschäftigen muß. Aber trotz allem bleibt das freie Wort die Hauptsache.

Oft habe ich mir auch kleine Zahlenaufstellungen gemacht, Lageskizzen oder graphische Darstellungen angefertigt, um Angaben zu erhärten oder Vorgänge leichter erklären zu können. Wie vorteilhaft dieses Vorgehen war, bewies mir einmal eine Beschwerde des Staatsanwalts und des Verteidigers während einer Verhandlung, warum sie nicht auch ein derartiges Exemplar bekämen. Denn ich hatte nur eines für den Richter angefertigt. Selbst ein Meßtischblatt kann gute Dienste tun, wenn man z. B. am Isohypsenverlauf Temperatureinflüsse und Windwirkungen in Luv und Lee auseinandersetzen will. Während mir weder vom Richter noch

vom Staatsanwalt jemals Schwierigkeiten erwachsen sind, entwickeln sich die Verteidiger nicht immer zur zartfühlenden Seite. Auch darauf sollte man vorbereitet sein. Wenn ein Rechtsanwalt seine Felle davonschwimmen sieht, versucht er zu retten, was zu retten ist, und bewegt sich dabei oft mit seinen Äußerungen am Rande der Sachlichkeit. Dann gilt als oberstes Gebot: Ruhe bewahren! Mir warf einmal ein Rechtsanwalt vor, ich stütze mich auf Unterlagen, die von einem Schulhausmeister stammten, der von Meteorologie überhaupt nichts verstünde. Außerdem wisse man zur Genüge, wie wenig man sich auf das verlassen könne, was die Meteorologen mit ihren Vorhersagen produzierten. Nachdem ich die Tätigkeit eines nebenamtlichen Beobachters auseinandergesetzt hatte, ließ ich den Verteidiger über den Richter fragen — während man ohne weiteres in den Verhandlungen mit Staatsanwalt und Verteidiger diskutieren kann, ist es in solchen Fällen besser angebracht, das Frage- und Antwortspiel über den Richter laufen zu lassen, um Schärfen zu vermeiden — worauf sich sein angebliches Wissen begründe. Die Frau des Klägers habe vom Küchenfenster aus den ganzen Vormittag gesehen, daß kein Schnee gefallen sei. Es war danach nicht schwer, die Verhältnisse wieder ins richtige Lot zu bringen.

An jenem Abend, den ich im Kreis von Juristen verbrachte, kam neben anderen Fragen auch die der Gebühren zur Sprache. Tritt man als Sachverständiger persönlich oder als Angehöriger des Dienstes auf? Kann man eine Bezahlung verlangen oder regelt man sie in Verbindung mit einer Dienstreise der Behörde? Die Quintessenz dieser — freilich nicht verbindlichen — Aussprache war folgende: Der beamtete Meteorologe hat sich auf der Universität die wissenschaftliche Lehre angeeignet. Diese allein genügt aber nicht zur Bearbeitung von Gutachten, da 1. ihm die Erfahrung fehlt, die er sich im vom Staat bezahlten Beruf hinerwirbt, und 2. jedes Gutachten einen Ort oder Raum betrifft, für den der Staat Beobachtungen oder Registrierungen anstellen läßt und diese dem Sachverständigen zur Verfügung stehen. Deshalb würde es für richtig gehalten, wenn der Sachverständige nur im Auftrag seiner Behörde handle und nur die Auslagen erstattet bekäme, die ihm auf Grund des Reisekostengesetzes durch die Vertretung seines Gutachtens vor Gericht entstanden seien. Die Gebühr für das Gutachten stünde in voller Höhe der Behörde zu.

So weit, so gut. Nun ist das Recht aber Ländersache, und in jedem Land gab es Sonderregelungen. Dem hat das Bundesgesetz über die Entschädigung von Zeugen und Sachverständigen in der Fassung vom 1. Oktober 1969 ein Ende gesetzt. Danach wird ein Unterschied gemacht zwischen Verhandlungen, denen ein bereits von einer meteorologischen Behörde bearbeitetes Gutachten vorliegt, und das nun vom Sachverständigen erläutert wird, und solchen, in denen noch kein meteorologisches Gutachten erstellt wurde. Im letzten Fall ist das Auftreten des meteorologischen Sachverständigen als Nebentätigkeit anzusehen, die genehmigungspflichtig ist und versteuert werden muß. Hier muß der Sachverständige seine Forderungen beim Gericht selbst anmelden und wird in vielen Fällen lange warten müssen, bis er zu seinem Geld kommt. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, daß die Gerichte die wissenschaftliche Arbeit ungleich beurteilen, meistens zu gering,

und nicht einmal das Beantragen einer richterlichen Entscheidung, die ausführlicher Begründung bedarf, führt in jedem Fall zum gewünschten Erfolg; also zusätzlicher Papierkrieg neben verzögerter Erstattung.

Liegt also noch kein schriftliches Gutachten vor, ist es deshalb ratsam, sich mit dem Richter vorher in Verbindung zu setzen und ihm zu erklären, daß das Erteilen von Gutachten zum Zuständigkeitsbereich des Deutschen Wetterdienstes gehört und er die benötigten Angaben über das Wetteramt anfordern möchte.

Wird in einer gerichtlichen Auseinandersetzung ein meteorologisches Gutachten benötigt, so kann dieses sowohl vom Richter als auch vom Staatsanwalt angefordert werden. Selbstverständlich ist es auch dem Verteidiger möglich, sich ein meteorologisches Gutachten zu besorgen. Hier können allerdings finanzielle Komplikationen eintreten, da die Gebühr für den Rechtsanwalt nach der Gebührenordnung des Deut-

schen Wetterdienstes festgesetzt wird, während für die Gerichte eigene Richtlinien gelten, nach denen der Endbetrag bis zu 50 % niedriger liegen kann. Kranken- oder Ersatzkassen genießen sogar Gebührenfreiheit. Versierte Rechtsanwälte betreten deshalb gelegentlich auch einen anderen Weg. Sie fordern die beteiligte Krankenkasse auf, das benötigte Gutachten beizubringen, um damit der Gebühr zu entgehen. Doch das sind Angelegenheiten, die den Meteorologen nur am Rande betreffen. Von ihm wird eine gründliche Vorbereitung gefordert, damit seine Aussagen vor Gericht hieb- und stichfest sind. Man erwartet von ihm als Sachverständigen, daß er neben seinem Beruf wenigstens soviel von Holzwirtschaft und Fischzucht, vom Bauwesen und Straßenverkehr, von Krankheiten und juristischen Fachausdrücken versteht, um mit seinen Angaben der Rechtsfindung dienen zu können.

TH. HOLCKE, Nürnberg

Tagungen

Klimaschwankungen

Arbeitskonferenz vom 15.—17. November 1972 in La Jolla, Kalifornien

Die American Meteorological Society veranstaltete in den Räumen der Scripps Institution of Oceanography von La Jolla (University of California, San Diego) vom 15. bis 17. November 1972 eine Arbeitskonferenz über historische und prähistorische Klimaschwankungen.

Das Treffen sollte von vornherein auch interdisziplinären Charakter haben und den beteiligten Wissenschaftlern helfen, aus Nachbargebieten Anregungen zu schöpfen. Dementsprechend waren von den 28 Vortragenden 11 Nicht-Meteorologen aus den Bereichen der Ozeanographie, Geophysik, Geologie und Botanik.

Die gebotenen Referate waren zu drei Bereichen zusammengefaßt worden:

1. Klimaschwankungen der Vergangenheit
2. Untersuchungen des Mechanismus von Klimaschwankungen
3. Klimamodelle.

Aus diesen Gebieten sei in folgendem das Interessanteste kurz wiedergegeben.

Von IMBRIE wurde über Bohrkern-Untersuchungen von Tiefseeproben aus der Karibik und dem Nordatlantik berichtet, wonach sich u. a. rekonstruieren läßt, daß das Ursprungsgebiet des Golfstromes vor knapp 20 000 Jahren, also zur letzten Eiszeit, um 3° kälter war, der Golfstrom breitenparallel nach Osten strömte und die nordatlantische ozeanische Polarfront etwa von Florida über die Azoren nach Südportugal verlief.

DANSGAARD zeigte, daß mit Hilfe von Eisbohrungen in Grönland und der Häufigkeit von Sauerstoffisotopen (O_{18}) sehr weit zurückreichende Schlüsse, bis zu 100 000 Jahren, auf das Vorzeitklima gezogen werden können. Die Voraussetzungen dafür sind in Grönland günstiger als in der Antarktis, da das Eis dort wesentlich langsamer fließt.

Es sei noch hinzugefügt, daß vor dem Hintergrund des so erschlossenen Auf und Ab der Temperaturen Grönlands aus fast 100 000 Jahren die rezente Erwärmung der Arktis als extrem hoch erscheint.

Die Vielfalt der Indizien für vergangene Klimaschwankungen wurde am

Beispiel der Ausführungen BUTZERS deutlich:

Anhand von Korallenstöcken des Roten Meeres sowie an der Morphologie und den Ablagerungen in und um die afrikanischen Binnenseen zeigte er die beträchtlichen früheren Klimaschwankungen Afrikas auf. Die ausgedehnten Seeareale und höchsten Wasserstände, bis zu 100 m über dem heutigen Stand, waren zur letzten Eiszeit um 20 000 vor Chr. zu verzeichnen.

FRITTS, LAMARCHE und SUESS bemühten sich um Ableitungen früherer Klimate mit Hilfe der schon länger bekannten Baumringmethode, auch mit Betrachtungen des C_{14} -Gehaltes; Sonnenaktivität und C_{14} -Häufigkeit in den Pflanzen stehen im umgekehrten Verhältnis zueinander. Aus diesen miteinander kombinierten Methoden schlossen die Autoren auf Vorzeitklimate bis zu 5000 Jahren zurück und teilten sie in die Gruppen „kühl-naß“, „kühl-trocken“, „warm-naß“ und „warm-trocken“.

Aus ihnen wiederum ließen sich Schlüsse auf die jeweils vorherrschende Zirkulation (meridional oder zonal und Lage der Frontalzone) ziehen.

Über Niederschlagsabweichungen der letzten 75 Jahre in den Tropen (4 Gebiete: Queensland, Karolinen, Indien und Nil) berichtete KRAUS: Danach stieg nach unternormalen Regenmengen gegen Ende des vorigen Jahrhun-

derts die Abweichung auf ein (positives) Maximum um etwa 1920, war um 1950/60 herum leicht negativ und ist zur Zeit wieder übernormal; als Normalwert wurde der Durchschnitt des betrachteten Zeitraums genommen. Ferner wies KRAUS darauf hin, daß in Indien Juli- und Januarluftdruck negativ korreliert sind (Werte aus 1881 bis 1960).

Der Beitrag des Berichterstatters bestand in der Demonstration eines, nach Beseitigung des verfälschenden Stadteinflusses verbesserten, globalen Temperaturtrends der letzten 90 Jahre, wonach es, nach einer zwischenzeitlichen leichten Erwärmung, heute bei noch fallender Tendenz nicht wärmer ist als vor 90 Jahren.

KUTZBACH wies darauf hin, daß die nordhemisphärischen Aktionszentren (Island- und Aläutentief) in den letzten 70 Jahren in ihrer Stärke erheblich schwankten, und daß die Regel „starkes Aläutentief — schwaches Islandtief und umgekehrt“ zu gelten scheint. Zum Thema der jüngsten globalen Abkühlung leistete KUKLA einen interessanten und eindeutigen Beitrag: Er wies darauf hin, daß kleine Strahlungsschwankungen durch Albedoveränderung, ozeanisch-atmosphärische Rückkoppelung und wohl auch durch stratosphärische Ozondichte in ihrer Wirkung vervielfacht werden. Nach seinen Überlegungen beginnen Langzeitabkühlungen der Erde in den Wintern der nordhemisphärischen Kontinente aufgrund verminderter Strahlungsbilanz, d. h. z. B. durch Albedovergrößerung durch Schnee. (Auf die Selbstverstärkung dieser Prozesse hatte schon früher BUDYKO hingewiesen).

Nach KUKLA befindet sich die Erde im Augenblick in einer Zeitspanne verhältnismäßig geringer langperiodischer (Größenordnung 10^4 Jahre) Schwankungen, jedoch auf einem absteigenden Ast der Temperatur, und zwar ähnlich wie vor 23 000 Jahren, dem Beginn der letzten Eiszeit. Die für die nächsten 8000 Jahre erwartete Abkühlung soll jedoch nur etwa halb so groß sein wie die der vergangenen Eiszeit. Für die kommenden 100 Jahre wird eine globale Abkühlung um 1°C erwartet. Dieser Wert stimmt — bislang noch — überein mit der von MITCHELL und DRONIA berechneten Abkühlung von $0,2^\circ$ für die letzten 2 Jahrzehnte, und er paßt auch zu der von KUKLA angeführten Ausdehnung der globalen Schneedecke der letzten 5 Jahre.

In die gleiche Richtung deutet die von OORT demonstrierte Abkühlung der freien Atmosphäre der Nordhalbkugel

um $0,6^\circ\text{C}$ von 1959—63, wiewohl man diesen enormen Betrag sicher nicht linear in die Zukunft extrapolieren darf.

Enge positive Korrelationen zwischen Wassertemperaturen, Lufttemperaturen und Luftdruck über dem Nordpazifik wies NAMIAS nach. Diese enge Rückkoppelung zwischen Druck- und horizontalem Wassertemperaturgradienten, auf die auch schon früher BJERKNES u. a. hingewiesen haben, scheint aber nach NAMIAS' Untersuchungen aus 10 Jahren auch eine Wiederholungs- oder Fortpflanzungsneigung zu haben, die wegen ihres eventuellen Nutzens für die Langfristprognose von Interesse und weiterer Untersuchung wert sein dürfte.

Mit den im Hinblick auf anthropogene Klimaänderungen wieder aktuell gewordenen Klimamodellen befaßten sich u. a. SPAR, GATES, KASAHARA, VERNEKAR und SALTZMANN. Dabei wurden Berechnungen vorgeführt, die zeigen sollten, wie sich z. B. Schneedeckenänderungen, Wassertemperatur- und Strahlungsschwankungen bemerkbar machen, in welchem Ausmaß und mit welcher Wirkungszeit. Die Ergeb-

nisse sind von realistischer Größenordnung, es fehlte jedoch in den meisten Fällen die Nachprüfung an der Beobachtung. Die von SELLERS vorgeführten Temperaturkarten Nordamerikas zeigten aber bildliche Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung. Nach seinen Angaben würde übrigens die Erdmitteltemperatur bei einer Strahlungsabnahme um nur 1% von heute 15°C um 6° sinken und bei einer Zunahme von z. B. 7% um 13° auf 28°C steigen. Nach seinem Rechenmodell ergäben sich als aktuelle Werte für den Äquator heute $24,5^\circ\text{C}$ (gemessen 26°), für die Pole -28°C (beobachtet -11°); ohne Meeresströmungen würden die Temperaturen übrigens bei -57° , bzw. -62° liegen.

Nach Berechnungen von DONN und SHAW lagen die Temperaturen der Nordhemisphäre im Paläozoikum, d. h. vor 200—500 Millionen Jahren, nur 2° über den heutigen Werten von 15°C . Auch hierin bestätigt sich wieder die im Grunde doch erstaunlich geringe Schwankungsbreite des globalen Energiehaushalts im Verlauf der Erdgeschichte.

H. DRONIA, Hamburg

Distribution of Precipitation in Mountain Areas

Symposium in Gello-Norwegen vom 31. 7. — 5. 8. 1972

Das Symposium wurde von der Weltorganisation für Meteorologie in Zusammenarbeit mit der International Association of Hydrological Sciences und einem norwegischen Organisationskomitee vorbereitet und durchgeführt. Nach der feierlichen Eröffnung am Montag, 31. 7., begann die erste Fachsitzung „Instrumente und Meßtechniken“. Die überwiegend von Meteorologen gehaltenen Vorträge ließen zum Teil sehr klar die Problematik der Punktniederschlagsmessung erkennen. Die anschließenden Diskussionen zeigten leider auf, daß diese Punktmeßwerte, zum Teil wohl mangels etwas besserem, von den Hydrologen zu sehr als repräsentativer Absolutwert angesehen werden.

Das 2. Hauptthema „Orographische Einflüsse auf die Niederschlagsverteilung, Meteorologische Faktoren“ wurde am Dienstag Nachmittag und Mittwoch Vormittag behandelt. Die Vorträge brachten gute Beispiele über diesen Einfluß als Funktion der unterschiedlichen Wetterlagen. Der Berichterstatter hielt in dieser Session einen Vor-

trag über eine Arbeit von R. ANIOL: „Regenfälle am Hohenpeißenberg und Wetterlage“.

Die Sitzung am Donnerstag, 3. 8., befaßte sich mit den physiographischen Faktoren und hydrologischen Betrachtungen orographischer Einflüsse auf die Niederschlagsverteilung. Die Vorträge brachten meist eine Darstellung der Niederschlagsverteilung im Gebirge als Funktion der Höhe, z. T. mit dem Versuch einer empirischen Erfassung dieser Funktion.

„Niederschlagsnetze in Gebirgsbereichen“ und „Methoden der Berechnung von Flächenniederschlägen“ waren die Themen am Freitag, 4. 8. Der „Key-speaker“ der erstgenannten Session, H. FERGUSON, Kanada, faßte seine Überlegungen zum Aufbau eines Niederschlagsnetzes in einen bemerkenswerten Fragenkatalog zusammen:

1. Für welchen Zweck werden die Niederschlagsdaten gebraucht?
2. Welcher Meßzeitabschnitt ist von prinzipieller Bedeutung?
3. Wie repräsentativ sind Punktmessungen?
4. Wie repräsentativ sind die Meßstationen selbst?

5. Welche wirtschaftlichen Faktoren werden dabei angesprochen?

Die Meinung über die Fragen 3 und 4 waren in der Diskussion sehr unterschiedlich, eine befriedigende Antwort auf beide Fragen konnte — wie zu erwarten — nicht gefunden werden.

Die Vorträge zum Thema Flächenniederschlag gliederten sich zwangsläufig in 3 Gruppen:

1. Abschätzungen aufgrund von einzelnen Schnee- bzw. Regenmessungen
2. Computeranalysen und -simulationsmodelle
3. Radar- und Satellitenmessungen.

Zu den letztgenannten Vorträgen gehörten eine amerikanische Arbeit über Niederschlagsschätzungen aufgrund von Meßdaten meteorologischer Satelliten und ein Beitrag des Berichterstatters „Flächenniederschlagsmessung mit X-Band-Radar von einem Berg nördlich der Alpen“, der sehr positiv aufgenommen wurde. Es war schade, daß der 2. Vortrag über Radarniederschlagsmessung in die Session „Instrumente“ ge-

legt worden war. Dr. HARROLD, UK, berichtete darin über das Dee-Projekt. Dieses Projekt zur Entwicklung eines Radar (S-Band)-Niederschlagserfassungssystems zur sofortigen Flächen-niederschlagsmessung wurde vor 10 Jahren geplant, es benötigte 8 Jahre Aufbauzeit. Seit einigen Monaten ist es voll einsatzfähig. Die wenigen, bisher vorhandenen Messungen stimmen mit einem 1000 km großen Regenmeßnetz mit 52 Wippenregennessern $\pm 20\%$ überein. Die Meßmethode entspricht weitgehend jener von WILSON, USA, und der des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeißenberg, die Radarrohwerte durch das Ergebnis einer Punktmessung über die gesamte jeweilige Niederschlagsdauer anzueichen.

Den Abschluß des Symposiums bildete am 5. 8. ein zusammenfassender Bericht von J. C. RODDA, UK, über die Ergebnisse dieser Tagung. Er unterstrich erneut die Meßprobleme, besonders jene der Schneemessung und des Windeinflusses. Einige seiner wichtigsten Forderungen seien kurz aufgeführt:

- a) Entwicklung besserer Schneemessungen,
- b) Methoden zur objektiven Aufstellung von Niederschlagsmessern,
- c) Regeln für den Aufbau sinnvoller Meßnetze zur Erfassung des
- d) Niederschlags in Zufließbereichen von Flüssen,
- e) Förderung und vermehrte Veröffentlichung von Arbeiten über den Zusammenhang zwischen orographischem Niederschlag und meteorologischen Parametern.

Ganz allgemein kann festgestellt werden, daß für viele Belange der Hydrologen eine bessere Kenntnis der Flächenniederschläge wesentlich ist. Die Differenzen zwischen den aus Punktmessungen mit Hilfe von Modellen berechneten Flächenniederschlägen im Einzugsgebiet von Flüssen und den gemessenen Abflüssen sind oft so groß, daß sie beim besten Willen nicht mehr mit der Verdunstung erklärt werden können.

W. ATTMANNSPACHER,
Hohenpeißenberg

Blick nach Draußen

Reise nach Israel

Der Berichterstatter war vom *Israeli-schen Meteorologischen Dienst* und von der *Hebrew Universität in Jerusalem* zu einem 14tägigen Besuch nach Israel eingeladen. Die Reise fand vom 16. bis 30. September 1972 statt.

Die Besuchszeit teilte sich auf in eine Woche Aufenthalt in Tel Aviv und Bet Dagan und in eine Woche Aufenthalt in Jerusalem. Der Berichterstatter hat sowohl in Bet Dagan als auch in Jerusalem Vorträge gehalten und agrarmeteorologische Beratungen durchgeführt. Es wurde in erster Linie über die z. Z. aktuellen Probleme in der Agrarmeteorologie des Deutschen Wetterdienstes und über neu erarbeitete Unterlagen zur Abschätzung der Energieumsätze im Gelände vorgetragen. Beratungen erfolgten in Gartenbaubetrieben und Gartenbauinstituten zu Fragen der Klimasteuerung in Gewächshäusern. Außerdem standen viele Besichtigungen von agrarmeteorologischen und geländeklimatologischen Untersuchungen auf dem Programm. Darüber hinaus fanden Besprechungen und Diskussionen mit Wissenschaftlern des *Vulcani Institutes für Landwirt-*

schaft statt. Hier standen vor allem pflanzenphysiologische Probleme im Vordergrund wie z. B. die CO_2 -Düngung und die Photosynthese in Abhängigkeit vom Gewächsklima.

Der Hauptanteil der Besuchszeit war der Besichtigung der agrarmeteorologischen und geländeklimatologischen Untersuchungen des Israelischen Dienstes gewidmet. Der agrarmeteorologische Dienstszweig ist im Rahmen des gesamten Israelischen Dienstes in einem neuen großen Gebäudekomplex außerhalb von Tel Aviv in Bet Dagan untergebracht. Hier befindet sich auch ein agrarmeteorologisches Versuchsfeld. Alle Untersuchungen im Lande werden von Bet Dagan aus durchgeführt. Sämtliche Versuchsplätze außerhalb von Bet Dagan sind mit registrierenden Meßgeräten ausgestattet und werden allgemein zweimal in der Woche von einer kleinen Gruppe von Technikern aufgesucht und betreut.

Die wichtigsten agrarmeteorologischen Arbeiten erstrecken sich neben der allgemeinen Beratung der Landwirtschaft auf Untersuchungen zum Frostschutz, zu Wasserhaushaltsfragen in der Land-

wirtschaft, zur Schadensverhütung durch Schädlinge und zum Problem der orographisch bedingten optimalen Anbauverhältnisse. Hinzu kommen geländeklimatologische Untersuchungen für die Ermittlung von günstigen Plätzen für landwirtschaftliche Wohnsiedlungen. In Israel ist die agrarmeteorologische Problemstellung wegen der Lage in vorherrschend semiariden oder ariden Klimaten trotz ähnlicher Themen meist sehr verschieden von der in Mitteleuropa.

Wer die Verhältnisse in Israel nicht näher kennt, wird sicher erstaunt sein, daß in diesen Klimaregionen überhaupt mit Frostschäden gerechnet werden muß. Im Gebiet des Sees Genezareth befinden sich große landwirtschaftliche Flächen, die vor allem für Gemüseanbau, für Zitruskulturen und Obstanbau genutzt werden. Diese Anbaugebiete reichen in die Tallagen des westlich des Sees Genezareth gelegenen Galiläa-Gebirges. Die Täler liegen z. T. bis zu 130 m unter dem Meeresspiegel. Die rund 400 m hoch reichenden Talhänge sowie die darüber liegenden Hochflächen sind zum großen Teil vegetationsfrei und liefern im Winter große Mengen Kaltluft, die sich dann in den Tälern ansammelt. Da die landwirtschaftliche Nutzung über das ganze Jahr hindurch erfolgt, kommt es in den untersten Tallagen während des Winters immer wieder zu erheblichen

Frostschäden, vor allem bei Gemüse. Man hat aufgrund der agrarmeteorologischen Untersuchungen begonnen, empfindliche Kulturen aus den besonders frostgefährdeten Zonen heraus in die Hanggebiete zu verlegen oder — wie z. B. bei Zitrus und Äpfeln — z. T. auch durch aktiven Frostschutz Schäden zu verhindern. Besonders gefährdet sind Avokadopflanzungen, die neben Tomaten und Pflückbohnen zu den wichtigsten Kulturen in diesem Gebiet gehören.

Die Untersuchungen zum Wasserhaushalt erstrecken sich einerseits auf Bewässerungsprobleme allgemein und andererseits auf Schäden, die durch einen zu hohen Verdunstungsanspruch der Atmosphäre sich unmittelbar auf bestimmte landwirtschaftliche Kulturpflanzen auswirken. So bewirkt z. B. das Einsetzen des Chamsins nach dem Fruchtansatz bei Avokado, daß durch sehr starke Transpiration der Wasserhaushalt der Pflanzen besonders stark beansprucht wird und es als Folge davon zum Abstoßen der jungen Früchte

kommt. Diese Schäden will man nun durch Anwenden der klimatisierenden Beregnung verhüten. Am Toten Meer laufen in Zusammenarbeit mit dem Militär z. Z. Untersuchungen zur wassersparenden Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen. Hier betreiben Soldaten eines im Judäa-Gebirge gelegenen Militärlagers während ihrer dreijährigen Dienstzeit gleichzeitig Landwirtschaft in der Wüste. Ab September wird während der Herbst- und Wintermonate unmittelbar am Toten Meer Gemüse, speziell Auberginen angepflanzt. Die Wasserversorgung muß bis auf ganz geringe Winterniederschläge (die Jahresniederschläge schwanken zwischen 2 und 50 mm) künstlich erfolgen. Das Wasser wird aus wenigen kleinen Quellen entnommen, die sich am Ende einiger Wadis befinden und aus dem durch die Wadis abfließenden Niederschlagswasser der Judäaberge gespeist werden. Um das wenige Wasser möglichst optimal ausnutzen zu können, verlegt man etwa 1 m breite Folien-Streifen aus Plastik auf dem

Boden maschinell. In den üblichen Pflanzabständen wird die Folie durchstoßen. An diese Stellen werden dann die Pflanzen gesetzt. Die Bewässerung erfolgt über Schläuche mit Abzweigungen zu jeder Pflanze hin — ähnlich der in Gewächshäusern vielfach angewendeten „Tröpfelbewässerung“ — unter der Folie. Auf diese Weise wird die Evaporation des Bodenwassers sehr stark eingeschränkt. Die potentielle Evaporation beträgt im Verlauf des Jahres in diesem Gebiet zwischen 10 und 17 mm pro Tag.

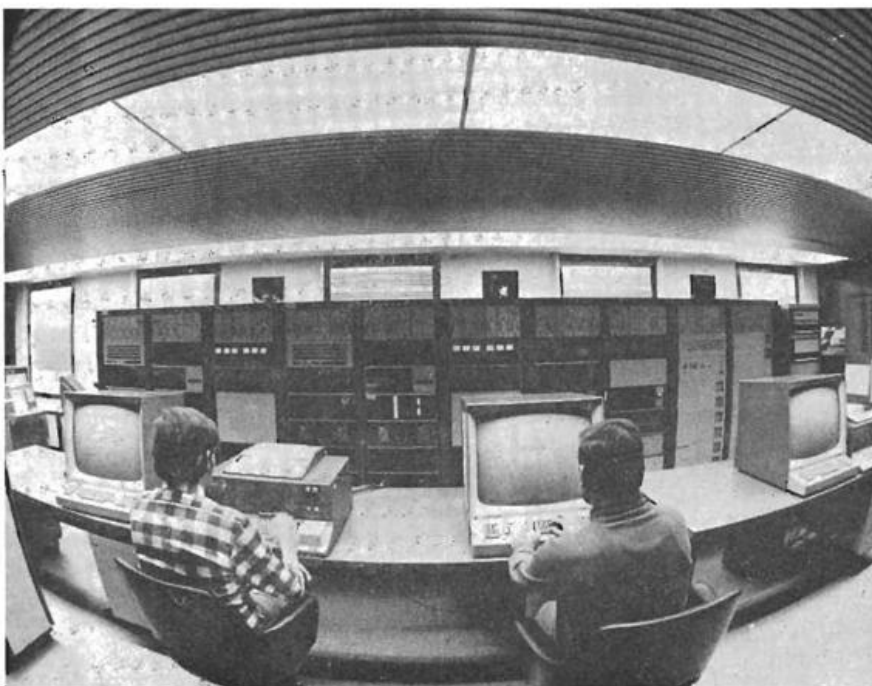
Um für Weizen ohne Bewässerung die optimalen Anbaulagen ausfindig zu machen, hat der Israelische Dienst eine große Untersuchung in einer weiten Tallage westlich des Sees Genezareth mit z. T. langgestreckten Hängen, die bis zu über 400 m hinauf reichen, geplant. Das Gelände ist für einen solchen Versuch besonders geeignet, weil hier auf relativ kleine Entfernungen z. T. recht erhebliche klimatische Unterschiede auftreten.

J. SEEMANN Offenbach

Aus dem Deutschen Wetterdienst

Das Zentralamt des DWD veranstaltete am 22. 3. 1973 aus Anlaß des hundertsten Jahrestages in der internationalen meteorologischen Zusammenarbeit eine Pressekonferenz. Im Mittelpunkt stand die

Automatische Fernschreib-Speichervermittlung



Sie eröffnete ihren Betrieb offiziell an diesem Tag. In der internationalen Zusammenarbeit ist das Zentralamt in Offenbach ein wichtiges Glied für Sammlung, Vermittlung und Verarbeitung meteorologischer Informationen. Diese Funktionen haben einen derartigen Umfang angenommen, daß sie manuell nicht mehr zu bewältigen sind. Täglich laufen 11 Millionen Zeichen ein, und mehr als 26 Millionen Zeichen werden ausgegeben.

Die Automatisierung begann bei der Informationsverarbeitung: Entschlüsselung, Analyse und Prognose im Jahre 1966 mit der Inbetriebnahme einer Großrechenanlage CDC 3400/3800 (Vergl. „promet“ 1 '72, S. 23). Die Informationsvermittlung folgte nach anfänglichen Schwierigkeiten in diesem Jahr mit zwei gleichen Digitalrechnern vom Typ TR 86 von AEG-Telefunken (Siehe Abb.) Dabei übernimmt bei Störungen an einem Rechner der in Reserve stehende andere automatisch die Ausgabe. Die Tätigkeit der Rechner umfaßt das Sammeln, Zusammenstellen, Speichern und Weitergeben von Wettermeldungen jeglichen Inhalts, Funktionen, die bisher in einem großen Fernschreibsaal unter

großem Personalaufwand im Schichtdienst wahrgenommen wurden.

An das Rechnersystem werden 48 Fernschreibleitungen für 50, 75, 100 und 200 Baud (1 Baud = 1 bit/sec) herangeführt. Darüber hinaus werden Datenleitungen für eine Übertragungsgeschwindigkeit von 1200 und 2400 bit/sec angeschaltet. Vorgesehen ist ein Ausbau auf 16 solcher „schnellen“ Anschlüsse. Sie dienen auch der Bildübertragung (Facsimile) von Wetterkarten mit ihrem hohen Informationswert. Neben diesen externen Anschlüssen werden Daten von Lochkarten, Lochstreifen und Magnetbändern übernommen und ausgegeben. Über Magnetbänder wird u. a. die oben erwähnte Großrechenanlage CDC 3400/3800 mit Daten versorgt.

Die *Hardware* (Apparate) besteht im wesentlichen aus folgenden Einheiten: 2 TR 86-Zentraleinheiten mit je einem Kernspeicher von 65 536 (64 K) Worten zu 24 bit.

4 Plattenspeicher von je 2 mal 10^6 Oktaden Kapazität. Damit werden je nach Meldungstyp Speicherzeiten von 3, 6, 12, 24 und mehr Stunden erreicht.

5 Sichtgeräte. Kommandos über ihre Tastaturen erlauben den Operateuren

beliebige Manipulation der Meldungen, Zugriffe zu den gespeicherten Daten und die Steuerung der Betriebsabläufe.

2 Fernschreibmultiplexer. Die Fernschreibleitungen, die Tastatur der Sichtgeräte sowie die Hilfskanäle der Fernsprechleitungen sind über einen Fernschreibmultiplexer an die Mehrwert-Ein/Ausgabe der Rechner angeschlossen.

- 2 Kontrollferschreiber
- 2 Echtzeituhren
- 2 Lochstreifenleser
- 2 Lochstreifenstanzer
- 1 Lochkartenleser
- 1 Lochkartenstanzer
- 1 Schnelldrucker
- 1 Leitungsüberwachungsplatz
- 3 Magnetbandeinheiten.

Die *Software* (Programme) umfaßt fast 100 000 Befehls Worte. Da im Kernspeicher Platz für die notwendigen Datenpuffer erhalten bleiben muß, wird rund die Hälfte der Programme nur bei Bedarf in den Kernspeicher geholt, sonst jedoch in einem Plattenspeicher gehalten. Im Mittel erreicht alle 4 ms ein Hardware-Interrupt, das ein externes Ereignis (z. B. die Ankunft eines Fernschreibzeichens oder

das Ende eines Magnetband-Transfers) anzeigt, das Betriebssystem. Der gesamte Programmumfang umfaßt derzeit 80 selbständige Programme, die sich in die Rechnerkernzeit teilen. Die Belegung des Rechnerkerns durch ein bestimmtes Programm wird automatisch von den Programmen abgegeben und nach Anstoß durch ein Interrupt oder durch ein anderes Programm wieder vom Betriebssystem zugeteilt. Dieses berücksichtigt dabei die Dringlichkeit der zu erledigenden Aufgabe. Sie wird durch die den einzelnen Programmen zugeordnete Priorität festgelegt. An oberster Stelle in der Prioritätenliste stehen die Ein- und Ausgabe-Programme, am Ende stehen Listenführungs- und Statistik-Programme.

Unter den derzeitigen Betriebsbedingungen wurden folgende *Leistungsdaten* ermittelt: 11 Millionen Eingangszeichen, 26 Millionen Ausgangszeichen pro Tag, Stundenmittel 440 000 Zeichen im Eingang und 1.1 Mill. Zeichen im Ausgang. Maximal 200 000 Zeichen Ein-/Ausgang pro Minute, 90 000 Telegramme pro Tag, maximal 490 Telegramme pro Minute. Durchschnittliche Belastung 52%. Mittelwert für die Zusammenstellung eines Telegramms: 4 Sekunden.

Neue Instrumente und Methoden

Automatische Wetterstation des DWD Typ III

(Instrumentenamt Hamburg/Philips)

Automatische Wetterstationen, die ohne Mitwirkung des Menschen meteorologische Messungen durchführen und sie über Fernschreib- oder Funkverbindungen weitermelden, gewinnen zunehmend an Bedeutung. Der Deutsche Wetterdienst wird in einer ersten Ausbaustufe etwa 20 Automatische Wetterstationen in der Bundesrepublik einrichten. Fast die Hälfte dieser Stationen arbeitet bereits, davon einige im nördlichen und nordwestlichen Küstengebiet schon über mehrere Jahre. Typ III wie auch die Vorläufer Typ I und II dieser Automatischen Stationen stellen eine Entwicklung des Instrumentenamtes Hamburg dar. Diese Stationen erfassen und telemetrieren in

stündlichem Abstand rund um die Uhr folgende meteorologische Meßgrößen: Luftdruck, Windrichtung und -geschwindigkeit, Lufttemperatur, Erdbodentemperatur in 5 cm Höhe über dem Boden sowie in 10 cm, 20 cm und 50 cm Tiefe, Relative Feuchte, Sichtweite, Strahlung, Sonnenscheindauer, Niederschlag zur Beobachtungszeit (ja — nein) und Niederschlagsmenge.

Jeder der stündlichen Durchgabezyklen der genannten Meßwerte wird durch die Jahreszahl mit Tag, Minute und Sekunde der Meldung sowie der Angabe der Stationskennziffer eingeleitet. Eine weitere Kennzahl ermöglicht für die Empfangsstelle, zu überprüfen, ob

das Gesamtsystem mit den richtigen Soll-Betriebsdaten arbeitet. Die Meßfühler der Automatischen Station sind überwiegend identisch mit denjenigen, die an herkömmlichen meteorologischen Beobachtungsstellen — ohne Automatik und Telemetrie — verwandt werden. Es mußten aber auch z. T. neuere Meßfühler ausgewählt werden, da nicht alle herkömmlichen Verfahren für eine Telemetrie geeignet sind.

Die oben angegebenen Meßwerte werden als elektrische Spannungen, z. T. als Impulse durch eine elektronische Einheit (Philips Partyline-System) erfaßt, aufbereitet und codiert an einen Fernschreiber bei der Empfangsstelle weitergeleitet.

Wichtige Neuerscheinungen

Weather Forecasting as a Problem in Physics.

(Übers. aus dem Russ.)

By A. S. MONIN.

Cambridge/Mass., London: Massachusetts Institute of Technology Press 1972. X, 300 S.

Man and its Environment. Climate.

By D. M. GATES.

New York: Harper and Row Publ. 1972. XIII, 175 S.

A First Course in Turbulance.

By H. TENNEKAS and J. L. LUMLEY.

Cambridge/Mass., London: Massachusetts Institute of Technology Press 1972. X, 300 S.

Atmospheres.

By R. M. GOODY and J. C. G. WALKER.

Englewood Cliffs/N.Y.: Prentice-Hall Inc. 1972. X, 150 S.

Langfristige Witterungsvorhersage.

Grundlagen eines neuen Versuchs mit Monatsvorhersagen.

Von F. BAUR.

Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 1972. VIII, 154 S.

Comprendre, Interpréter, Appliquer la Météorologie.

Par P. DEVUYST.

Bruxelles: Albert de Visscher; Paris: Ed. Eyrolles 1972. 164 S.

An Introduction to Dynamic Meteorology.

By J. R. HOLTON.

New York, London: Academic Press 1972. XI, 319 S.

Witterung und Klima.

Von E. HEYER, 2. Aufl.

Leipzig: B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1972. 458 S.

Clouds of the World. A complete colour encyclopedia.

By R. SCORER.

Newton Abbot Devon: David & Charles 1972. 176 S.

Das Wetter aus kosmischer Sicht.

Von H. NEUMEISTER.

Gotha, Leipzig: VEB Hermann Haack 1972. 164 S.

Dispersion and Forecasting of Air Pollution.

By R. E. MUNN, A. E. J. EGGLETON and L. FACY.

Geneva: World Meteorological Organization 1972. IV, 116 S. = WMO-Nr. 319. Techn. Note No. 121.

Der Deutsche Wetterdienst.

Von E. SUSSENBERGER.

Düsseldorf: Droste Verlag 1973. 144 S. M. SCHLEGEL, Offenbach

Die Glosse

Wer war der erste Wetterprophet?

Antwort: Der Prophet ELIA. In der Bibel steht's geschrieben. Im Ersten Buch von den Königen, Kapitel 17, Vers 1, steht zu lesen: „Und es sprach Elia, der Thisbiter, aus den Bürgern Gileads, zu Ahab: „... es soll diese Jahre weder Tau noch Regen kommen, ich sage es denn“. Das ist — abgesehen von der heute ungewöhnlichen Form der Aussage — eine Wettervorhersage. Wahrscheinlich die erste, die in dieser Form schriftlich fixiert wurde. Das Erstaunen des Lesers wächst, wenn er im weiteren Text erfährt, daß Elia die Gültigkeitsdauer seiner „Prognose“ nicht auf den heute üblichen bescheidenen Rahmen „... bis morgen abend ...“ begrenzt wissen wollte, sondern auf drei Jahre und sechs Monate. Das ist, meteorologisch gesehen, eine Langfristprognose, mit der dem Ahab und seinem Königreich Samaria eine lange Dürrezeit prophezeit wurde. Leider wissen wir nicht, auf Grund welcher Kenntnisse Elia in der Lage war, diese einzigartige „stationäre Hochdrucklage“ vorherzusagen. Aber wie dem auch sei, es erging ihm nicht anders als vielen unbequemen Propheten bis auf den heutigen Tag, er mußte außer Landes und ins Exil gehen. Als Elia nach 42 Monaten zurückkehrte, herrschte in dem Königreich des Ahab, in dem drei Jahre und sechs Monate (das sind genau 42 Monde)

weder Tau noch Regen gefallen waren, eine große Teuerung. Elia aber ließ alles Volk und die vierhundertfünfzig Propheten des Baal auf dem Berg Karmel zusammenrufen und sagte für den Abend desselben Tages ein Gewitter voraus. Ort und Zeit des Gewitters konnten nicht besser gewählt werden. Erinnern wir uns doch! Auch heute heißt es manchmal in den Wettervorhersagen: „... höchstens im Bergland oder im Voralpengebiet noch vereinzelt Gewitter“. Wenn überhaupt, dann gewittert es in den Bergen. Das aber nicht morgens oder gegen Mittag, sondern am Abend, wenn die Sonne bereits ihren Höchststand überschritten hat. Eine Erfahrung, die selbst Laien aus eigener Erfahrung bestätigen können.

Es war deshalb auch nicht verwunderlich, daß die vierhundertfünfzig Propheten des Baal vergeblich versuchten, in den Vormittagsstunden „das Feuer vom Himmel“ herabzubeschwören. Sie mußten unverrichteter Dinge abziehen und Elia das Feld überlassen.

Bevor er sich in den Abendstunden ans Werk machte, widmete er seine ganze Aufmerksamkeit den praktischen Vorbereitungen. Die zwölf riesigen Altarsteine mußten hoch übereinander getürmt und mit Wasser begossen werden. Daß Blitzschläge von den höchsten Punkten und dem Wasser angezogen werden, war offenbar

dem Propheten auch damals schon kein Geheimnis mehr. Fast auf die Stunde genau erfüllten Blitz und Donner die zweite der Wetterprognosen des Elia. Aber damit noch nicht genug. Elia sagte des weiteren voraus, was wir heute eine „Umstellung der Großwetterlage“ nennen würden. Ein großer Regen sollte nämlich die Dürreperiode beenden (1. Könige, Kapitel 18, Vers 41).

Im weiteren Text erfahren wir, daß Elia einen Boten in regelmäßigen Abständen siebenmal zum Meer schickte, er sollte dort nach Wolken und Regen Ausschau halten. Beim siebenten Male sah der Bote „eine kleine Wolke auf dem Meer wie eines Mannes Hand“, und bald darauf „ward der Himmel schwarz von Wolken und Wind, und es kam ein großer Regen“. Das ist eine naturgetreue Zeiträfferschilderung der Entwicklung einer kleinen Quellwolke zu einer mächtigen Schauerwolke. So ging auch die dritte Wetterprognose des Elia in Erfüllung.

Wie man zu jener Zeit mit falschen Propheten verfuhr, können wir im Ersten Buch von den Königen, Kapitel 18, Vers 40, nachlesen: „Elia aber sprach zu ihnen: Greift die Propheten Baals, daß ihrer keiner entrinne! Und sie griffen sie. Und Elia führte sie hinab an den Bach Kison und schlachtete sie daselbst.“

H. PANZRAM, Offenbach

Definition

Ein Computer ohne Personal gleicht einer reichgedeckten Tafel hinter verschlossenen Türen.

**Symposium on the Atmospheric
Boundary Layer**

(Siehe „promet“ 1 '73, S. 32)

Aufgrund der vom VDMG versandten Tagungsankündigungen sind 43 Vortragsanmeldungen, darunter 22 von ausländischen Teilnehmern eingegangen. Wegen der großen Zahl der angemeldeten Vorträge war es erforderlich, die Tagung um einen halben Tag zu verlängern. Sie findet deshalb jetzt vom 10—12. Oktober 1973 in Mainz statt. Als Tagungsraum ist das Hörsaalgebäude auf dem Universitätsgelände der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz vorgesehen. Zur Deckung eines Teils der Tagungskosten wird eine Gebühr von DM 15,— erhoben. Sie kann jedoch den Teilnehmern erlassen werden, deren Organisation nicht die Tagungskosten innerhalb der üblichen Reisekostenabrechnungen übernimmt.

**Bundesverdienstkreuz für einen
Meteorologen**

Der Bundespräsident hat dem Direktor des Meteorologischen Instituts der Universität Bonn, Prof. Dr. Hermann Flohn das große Verdienstkreuz der Bundesrepublik verliehen.

Anschrift des Autors

Prof. Dr. F. Möller
8 München 71
Appenzeller Straße 107/VIII

Manuskriptsendungen werden erbeten an

Hauptschriftleitung „promet“
Herrn Dipl.-Ing. A. Hofmann
6380 Bad Homburg
Theodor-Storm-Str. 35
oder
Deutscher Wetterdienst
— Zentralamt —
6050 Offenbach (Main)
Frankfurter Straße 135