

Die chemische Zusammensetzung der unteren Atmosphäre I. Die Gase



Herausgeber

Deutscher Wetterdienst

Hauptschriftleiter

A. Hofmann
6380 Bad Homburg
Theodor-Storm-Straße 35

Redaktionsausschuß

F. Defant (Kiel)
H.-W. Georgii (Frankfurt)
K. H. Hinkelmann (Mainz)
H. Hinzpeter (Mainz)
H. Reiser (Offenbach)
M. Schlegel (Offenbach)
H.-P. Schmitz (Neustadt/Weinstraße)
E. Stuhlweißenburg (Fürstfeldbruck)
E. Süßenberger (Offenbach)
F. Wippermann (Darmstadt)

Titelbild

Gerölle von Pyrit (FeS_2) aus verfestigten präkambrischen Küstenschottern (Witwatersrand-Konglomerate, Süd-Afrika, ca. 2.5×10^9 Jahre alt). Im heutigen Verwitterungs-Kreislauf sind Sulfide thermodynamisch instabil, weil sie in Gegenwart von Luftsauerstoff sofort zu wasserhaltigen Eisen(III)-Oxyden („Rost“) und Sulfat (SO_4^{2-}) oxydiert werden. Die Chance, daß Sulfide einen Verwitterungstransport überleben und als Gerölle erhalten bleiben, ist somit äußerst gering. Das ausschließliche Auftreten von fossilen Pyritschottern und -sanden in der frühesten Erdgeschichte ist ein *Beweis für den äußerst geringen Sauerstoffgehalt der alten Erd-Atmosphäre.*

(Abb. entnommen aus Beiheft 85 zum Geologischen Jahrbuch der Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover 1970.)

promet erscheint vierteljährlich im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes — Zentralamt — 6050 Offenbach (Main), Frankfurter Straße 135. Bezugspreis DM 24,— pro Jahrgang, Einzelheft DM 6,50.

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

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

Thema des Heftes

Die chemische Zusammensetzung der unteren Atmosphäre.

I. Die Gase

(Redaktion: CHR. JUNGE, Mainz)

Beiträge

Seite

Chr. Junge		
1	Allgemeine Betrachtungen	1
M. Schidlowski		
2	Die Entwicklung der Erdatmosphäre	3
Chr. Junge		
3	Das Kohlendioxyd und seine Zunahme	6
P. Warneck		
4	Aktuelle Fragen zum Ozonproblem	9
W. Seiler		
5	Der Kreislauf von CO , H_2 , N_2O und CH_4	12
Chr. Junge		
6	Die Atmosphäre als Transportmittel toxischer Stoffe	15
Problem- und Diskussionsecke		
	„Technoklimatologie“ oder „etwas anderes“?	17
	Nach einer Frostnacht	32
Institute stellen sich vor		
	Das Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz, Abteilung: Chemie der Atmosphäre und Physikalische Chemie der Isotope	18
	Das Meteorologische Observatorium Hohenpeißenberg des Deutschen Wetterdienstes	20
	Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen im Fach Meteorologie an den Universitäten der Bundesrepublik Deutschland und West-Berlins im Jahre 1974	21
Zum Berufsbild des Meteorologen und Wetterberaters		
	Meteorologen als Lehrer beim GeophysBDBw	23
Neue Instrumente und Methoden		
	Die menschliche Nase	26
Aus der Weltorganisation für Meteorologie (WMO)		
	Die Weltorganisation für Meteorologie	27
	Die Glosse	32

Thema dieses Heftes

Die chemische Zusammensetzung der unteren Atmosphäre

I. Die Gase

Der Umfang dieses Themas machte eine Aufteilung auf zwei Hefte erforderlich. Dabei ist das erste Heft vorwiegend den gasförmigen Bestandteilen, das zweite Heft den teilchenförmigen Spurenstoffen, den Aerosolen gewidmet. Das Gesamtthema wird nicht nur im ersten einführenden Beitrag angesprochen, sondern auch in dem im zweiten Heft vorgesehenen letzten Beitrag, der die Konsequenzen auf den meteorologisch so wichtigen Strahlungshaushalt behandeln wird. Alle Beiträge wurden durchnummeriert, so daß Heft 375 mit dem Aufsatz Nr. 7 beginnt. Es kommt der Geschlossenheit der Darstellung zugute, daß alle Autoren Mitglieder des Sonderforschungsbereichs 73 (Atmosphärische Spurenstoffe) der Deutschen Forschungsgemeinschaft sind.

1 CHR. JUNGE, Mainz Allgemeine Betrachtungen

Die Chemie der Atmosphäre begann sich nach dem zweiten Weltkrieg als eigenständiges Gebiet der Meteorologie zu entwickeln. Diese Entwicklung wurde wesentlich mitbestimmt durch die ganz neuartigen Fragestellungen, die die Verteilung und das Verhalten der durch die Atomtaste in die Atmosphäre eingebrachten radioaktiven Spaltprodukte an die Meteorologie stellten. Dabei war die Meteorologie nicht nur der gebende Teil: Wir erhielten durch diese Untersuchungen u. a. die ersten konkreten Angaben über das großräumige Mischungsverhalten von Strato- und Troposphäre, insbesondere über die langen Aufenthaltszeiten stratosphärischer Luftmassen von der Größenordnung ein Jahr.

Die luftchemische Forschung befaßte sich zunächst mit dem Verhalten der in geringen Anteilen in der Atmosphäre vorhandenen Spurenstoffe, und dies ist auch heute noch ihr Hauptanliegen. Jedoch hat sich in jüngster Zeit die Fragestellung auch auf die Prozesse usw. ausgedehnt, die die Konzentration der atmosphärischen Hauptgase und damit zusammenhängend die Entwicklung der Erdatmosphäre bestimmen. Es ist eigentlich erstaunlich, daß die Meteorologie sich praktisch nie die Frage nach den Ursachen der chemischen Zusammensetzung ihres Mediums gestellt hat und dies den Kosmo- und Geochemikern, Geologen, Ozeanographen und Biologen überließ. Der Grund dafür war wohl ihre geschichtlich bedingte, stark anwendungsbezogene physikalische Ausrichtung. In dieser Darstellung wollen wir deshalb auch diese interessanten Fragen anschnitten, die den Blick auf die Zusammenhänge mit den Nachbar-disziplinen öffnen und auch die Sonderstellung der Erdatmosphäre unter den Planet-Atmosphären verständlich macht.

Genetische Einteilung der atmosphärischen Gase

Der Versuch einer sinnvollen Einteilung der atmosphärischen Gase nach den ihre mittlere Gesamtkonzentration bestimmenden Prozessen ist erst sehr jungen Datums. Wir können folgende Kategorien unterscheiden:

1. Gase, die sich in der Erdatmosphäre akkumuliert haben.
2. Gase, deren Konzentration im wesentlichen durch physikochemische Gleichgewichte mit der Hydrosphäre bestimmt sind, und
3. Gase, deren Konzentration durch das dynamische Gleichgewicht eines Kreislaufs bestimmt ist.

Akkumulative Gase sind solche, deren überwiegender Anteil sich im Laufe der erdgeschichtlichen Bildung der Sedimenthülle (einschließlich der Ozeane und der Atmosphäre) als Folge vulkanischer Exhalationen in der Atmosphäre angereichert hat. Darunter fallen eindeutig N_2 und die Edelgase, mit Ausnahme des Heliums, Radons und Thorons. Der Grund für die Anreicherung ist ihre Schwierigkeit, chemische Bindungen im Erdmantel und im festen oder flüssigen Teil der Sedimenthülle einzugehen. Ihre jetzige Konzentration in der Atmosphäre ist also bedingt durch ihre Häufigkeit im Erdmantel und den inzwischen erreichten Grad seiner Entgasung. Man kann vermuten, daß in den Atmosphären der Nachbarplaneten diese Gase auch anwesend sind. Das einzige Gas, dessen Eingruppierung Schwierigkeiten bereitet, ist der Sauerstoff, bei dem es nicht klar ist, ob er zur Kategorie 1 oder 3 gehört (siehe Beitrag 2). Die zweite Kategorie umfaßt H_2O und CO_2 , die beide durch die massenmäßig vergleichsweise umfangreiche Hydrosphäre bestimmt sind und zwar durch physiko-

chemische Gleichgewichte. Die mittlere Konzentration des H_2O in der Atmosphäre ist in grundsätzlich einfacher Weise durch die Temperaturverteilung an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre einerseits und durch seine Dampfdruckkurve andererseits bestimmt. Der atmosphärische CO_2 -Pegel ist grundsätzlich durch die Zusammensetzung des Ozeanwassers chemisch fixiert. Beide Gase besitzen außerdem recht aktive atmosphärische Kreisläufe, das CO_2 sogar mehrere, aber es läßt sich zeigen, daß für die mittlere Konzentration dieser Gase die Kreisläufe nicht der bestimmende Faktor sind wie bei den Gasen der dritten Kategorie, so daß sie einer eigenen Kategorie zuzuordnen sind.

Die *dritte Kategorie* umfaßt eindeutig alle übrigen atmosphärischen Bestandteile, also vor allem die große Zahl der in nur geringen Anteilen vorkommenden Spurengase sowie auch die teilchenförmigen Spurenstoffe, die Aerosole. Die mittlere Konzentration dieser Stoffe wird bestimmt durch die Intensität ihrer weltweit verteilten Quellen und durch die globale Wirksamkeit ihrer Senken, d. h. der Prozesse, die für ihr Wiederausscheiden aus der Atmosphäre verantwortlich sind. Diese Quellen befinden sich meist an der Landoberfläche, z. T. auch an der Meeresoberfläche und sind sehr häufig mikrobiologischer Art, wie z. B. bei CO , H_2 , CH_4 , N_2O , H_2S , NH_3 . Auch bei den Senken spielen mikrobiologische Prozesse eine Rolle, wie z. B. beim CO und H_2 , aber hier scheinen doch die chemischen Prozesse zu überwiegen. Mit Ausnahme des Ozons spielt dabei die Stratosphäre als Quelle oder Senke eine untergeordnete Rolle: Der atmosphärische Konzentrationspegel dieser Spurengase ist praktisch durch den troposphärischen Kreislauf bestimmt.

Zur dritten Kategorie gehören auch die Edelgase Helium, Radon und Thoron, die durch radioaktiven Zerfall des Urans und Thoriums im Erdmantel und der Sedimenthülle laufend entstehen und in die Atmosphäre entweichen. Während aber Radon und Thoron in der Atmosphäre rasch weiter zerfallen, entweicht das stabile Helium wegen seines geringen Atomgewichtes aus dem Schwerefeld der Erde. Dabei dauert es etwa 10^6 Jahre, ehe der Heliumgehalt der Atmosphäre einmal umgewälzt wird; es ist dies die längste bekannte atmosphärische Aufenthaltszeit aller Gase, deren Konzentration durch einen Kreislauf bestimmt wird.

Die Spurenstoffe der reinen Atmosphäre

Stratosphäre und Troposphäre unterscheiden sich luftchemisch beträchtlich. Dies liegt an der sehr langsamen vertikalen Durchmischung der unteren Stratosphäre, die eine weitgehende chemische Entkoppelung der Stratosphäre zur Folge hat. Wir wollen uns in diesem Heft im wesentlichen auf die Troposphäre beschränken. Nur im Falle des die ganze Stratosphäre beherrschenden Ozons haben wir eine Ausnahme gemacht. Hier vollziehen sich seit knapp zehn Jahren wichtige Entwicklungen, über die jeder Meteorologe unterrichtet sein sollte.

Unsere Darstellung wird sich weiterhin vorzugsweise mit den großräumigen luftchemischen Aspekten der rei-

nen oder nur geringfügig verschmutzten Atmosphäre befassen. Von grundlegender Bedeutung sind dabei die *Kreisläufe* der verschiedenen *Spurengase* und der *Aerosole*. Obwohl dieses Gebiet im wesentlichen Grundlagenforschung darstellt, haben die Ergebnisse z. T. erhebliche praktische Bedeutung. Erst die quantitative Erfassung der Kreisläufe der Gase gestattet nämlich eine eindeutige Aussage, ob und in welchem Ausmaß die menschliche Tätigkeit zu ernsthaften globalen Veränderungen führen kann.

Reinluft- und Verschmutzungsgebiete lassen sich nicht scharf trennen, und auch die Probleme beider Bereiche sind vielfältig verflochten. Die wesentlich höheren Konzentrationen anthropogener Schadstoffe in Ballungsräumen im Verein mit ihrer Beschränkung auf lokale Bereiche der planetarischen Grenzschicht bieten jedoch Probleme so bedeutender und vielfältiger Art, daß eine gesonderte Betrachtung notwendig wird.

Geringfügige atmosphärische Beimengungen werden oft als Spurenstoffe bezeichnet. Die Zahl der nachgewiesenen Spurenstoffe steigt laufend an und ist im wesentlichen bedingt durch die Entwicklung immer empfindlicherer Nachweismethoden. Man kann mit gutem Grund erwarten, so ziemlich alle Stoffe in der Atmosphäre anzutreffen, wenn entsprechende Analysemethoden zur Verfügung stehen. Diese Entwicklung ist in vollem Gang und führt zu einer sehr raschen Ausweitung des Gebietes der Luftchemie. Dabei erlangen manchmal Spurenstoffe plötzlich eine große Bedeutung, deren Anwesenheit in der Atmosphäre vor wenigen Jahren noch unbekannt war, wie z. B. im Falle der Freone oder der polychlorinierten Biphenyle (Beiträge 4 und 7). Es ist auf Grund dieser Situation verständlich, daß wir uns in der Auswahl des Stoffes auf die besonders wichtig erscheinenden Themen beschränken mußten und es nicht möglich war, Vollständigkeit anzustreben.

Die Abgrenzung der Spurenstoffe von den atmosphärischen Haupt- oder Trägergasen ist in der Literatur nicht klar definiert. Am besten würde sich dazu das mittlere atmosphärische Mischungsverhältnis eignen. Setzt man z. B. die Abgrenzung bei 1% an, so wären nur N_2 und O_2 Hauptgase, bei 1‰ käme Argon und H_2O , bei 0,1‰ auch das CO_2 hinzu. Diese letztere Grenze scheint dem Sprachgebrauch am nächsten zu kommen, aber es lassen sich gute Gründe für die 1% Grenze anführen, der wir auch den Vorzug geben.

In der folgenden Darstellung der wesentlichen atmosphärischen Bestandteile beginnen wir mit Fragen der Evolution unserer Atmosphäre, vor allem der Bildung des O_2 , und gehen dann auf die wichtigen Gase CO_2 und O_3 und die Gruppe der „ppm-Gase“ über. Toxische und aerosolbildende Spurengase leiten zu den Aerosolen über. Abschließend wird eine Übersicht über die Rolle der Spurenstoffe im Strahlungshaushalt der unteren Atmosphäre gegeben.

Zum Schluß noch ein Wort zu den vielfältigen Einheiten, die im Gebrauch sind. Man sollte grundsätzlich klar zwischen Mischungsverhältnis und Konzentration unterscheiden. Mischungsverhältnisse sind konservative, von Druck und Temperatur unabhängige Größen und kön-

nen auf Masse oder Volumen bezogen werden (z. B. ppm=part per million (10^{-6}), ppb=part per billion (10^{-9}), wobei die Zusätze m oder v andeuten, ob auf Masse oder Volumen bezogen wird oder $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = Mikrogramm eines Spurenstoffes pro Normal-Kubikmeter etc.). Als Konzen-

trationen dagegen bezeichnen wir die Menge (Masse oder Zahl) pro aktuellem Volumen (z. B. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = Mikrogramm pro aktuellem Kubikmeter etc.). Leider werden die eindeutigen Unterscheidungen in der Literatur nicht immer beachtet.

2

M. SCHIDLOWSKI, Mainz

Die Entwicklung der Erdatmosphäre

Wie ein Vergleich mit den inzwischen gut bekannten Gashüllen unserer Nachbarplaneten zeigt, ist die sauerstoffhaltige Erdatmosphäre ganz außergewöhnlich. Es gibt jedoch gute Gründe für die Annahme, daß die irdische Uratmosphäre weitgehend den reduzierenden Atmosphären der anderen Planeten entsprach, und daß unsere jetzige Lufthülle das Resultat einer langen Evolution ist, die bereits in der „stellaren“ Phase des Planeten begann und sich in der geologischen Entwicklungsphase fortsetzte. Es ist heute unbestritten, daß diese Evolution weitgehend mit der Entwicklung des Lebens auf der Erde rückgekoppelt war, und daß somit — auch aus der historischen Perspektive — die *heutige Erdatmosphäre* letztlich als *integraler* Teil der *irdischen Biosphäre* aufgefaßt werden muß. Im folgenden wird versucht, einen kurzen Abriß der atmosphärischen Evolution und speziell der Entwicklung des irdischen Sauerstoff-Budgets zu geben.

Die reduzierende Primordialatmosphäre

Da die Edelgase auf der Erde im Vergleich zu ihrer kosmischen Häufigkeit ganz beträchtlich abgereichert sind (um Faktoren zwischen 10^{-7} bis 10^{-11}), müssen wir annehmen, daß das Schwerefeld des sich bildenden Protoplaneten offenbar nicht in der Lage war, eine etwaige primäre Gashülle festzuhalten. Die älteste Erdatmosphäre muß somit ein späteres Entgasungsprodukt des Erdmantels gewesen sein. Nachdem sich die Oberfläche des Erdkörpers auf etwa 300 K abgekühlt hatte, konnten die freigesetzten Gase das Schwerefeld des Planeten in der Regel nicht mehr verlassen, so daß sich allmählich eine irdische Gashülle aufbaute. Legen wir die mittlere Zusammensetzung heutiger vulkanischer Exhalationen zugrunde, dann waren Wasserdampf und CO_2 die quantitativ vorherrschenden Entgasungsprodukte (jeweils etwa 80 bzw. 10% der freigesetzten „Leichtflüchtigen“), gefolgt in weitem Abstand von H_2S , CO , H_2 , N_2 , CH_4 , NH_3 , HF , HCl , Ar u. a. Da das Material von Erdkruste und -mantel weitgehend an Sauerstoff untersättigt ist (was sich u. a. aus dem $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ -Verhältnis in den Primärgesteinen ergibt), tritt freier Sauerstoff praktisch nie als Bestandteil derartiger Exhalationen auf, und die *Ur-atmosphäre* muß deshalb zwangsläufig *reduzierend* gewesen sein. Dieser Zustand hat bis etwa 2,5 Mrd. Jahre nach Bildung der Erde angedauert. Bis zu diesem Zeitpunkt treten nämlich in Schotterersedimenten oxydable Mineralien, z. B. Pyrit, FeS_2 (Titelbild) und Uranpecherz,

UO_2 auf, die bei Anwesenheit von O_2 in der Atmosphäre rasch zerstört worden wären (vgl. Abb. 2.1, unterer Teil). Die Annahme einer reduzierenden Umwelt während des frühen und mittleren Präkambriums wird auch durch das massenhafte Auftreten sog. „gebänderter Eisensteine“ gestützt (Abb. 2.1), für deren Bildung ein Verwitterungstransport des Eisens in zweiwertigem Zustand (d. h. bei Abwesenheit von freiem Sauerstoff in der Atmosphäre) eine notwendige Voraussetzung ist.

Bezüglich der heutigen Hauptkomponenten der irdischen Gashülle nehmen wir an, daß der Stickstoff (ca. 80% der Atmosphäre) sich akkumuliert hat, während der CO_2 -Spiegel durch die frühzeitig gebildeten Ozeane immer annähernd konstant gehalten wurde (der ausgegaste Wasserdampf konnte infolge günstiger Oberflächentemperaturen kondensieren und sammelte sich als Hydrosphäre vorzugsweise in den Ozeanen). Die Edelgase reicherten sich (wie Stickstoff) durch Akkumulation an, wobei neben Radon und Thoron das Helium eine Ausnahme macht, das sich — als Folge ständigen Entweichens aus dem Schwerefeld — in einem stationären Zustand befindet. Das mit Abstand wichtigste Problem der atmosphärischen Evolution ist jedoch die Ansammlung von freiem Sauerstoff, die daher im folgenden eingehender besprochen werden soll.

Die Entstehung der sauerstoffhaltigen Atmosphäre

Infolge der generellen Untersättigung der Lithosphäre an Sauerstoff kann dieser niemals in freier Form als Ergebnis magmatischer Prozesse freigesetzt werden. Als Quelle für freien Sauerstoff kommen somit nur nicht-geologische Prozesse in Frage, bei denen der Sauerstoff nachträglich durch Aufspaltung oxydischer Gase (Wasserdampf, CO_2) entsteht. Hierbei handelt es sich um thermodynamische „Aufwärts“-Reaktionen, für die beträchtliche Energiemengen benötigt werden. *Da als Energiequelle für diese Reaktionen praktisch nur das Sonnenlicht zur Verfügung steht, muß die Anwesenheit von freiem Sauerstoff in der Atmosphäre letztlich auf einem photochemischen Effekt beruhen*, wobei wir zwischen einem anorganischen und einem organischen Effekt zu unterscheiden haben.

Der anorganische photochemische Effekt

Hierbei handelt es sich um die Photodissoziation von Wasserdampf in der höheren Atmosphäre mit anschließender gravitativer Trennung der Bestandteile. Der

„dissoziative“ Spektralbereich umfaßt vor allem die Wellenlängen zwischen 1500 und 2100 Å. Der Nettoeffekt dieser „Photolyse“ wird mitbestimmt durch das bevorzugte Abwandern des leichten Wasserstoffs aus dem irdischen Schwerefeld. Sobald der freigesetzte Wasserstoff Höhen über 100 km erreicht hat, sind seine Entweichchancen sehr gut, da wegen der dort herrschenden geringen Dichte die Wahrscheinlichkeit einer Rekombination (unter erneuter H₂O-Bildung) äußerst gering ist. Dieser Prozeß muß jedoch bei einer bestimmten O₂-Konzentration zum Stillstand kommen — einmal durch die Abschirmung der photolytisch aktiven Strahlung durch den neugebildeten Sauerstoff, zum anderen wegen des ständigen Sauerstoffverbrauches (Rekombination von H₂ und O₂ zu H₂O, Oxydation reduzierender Gase, Oxydation von Oberflächenmaterial). Es ist z. Z. noch weitgehend offen, inwieweit die Photodissoziation von Wasserdampf zu einer Anreicherung von O₂ in der Atmosphäre führen kann. Nach BERKNER und MARSHALL (2.1) liegt der Selbstregulierungspegel bei 10⁻³ des heutigen O₂-Gehaltes (sog. „UREY-Pegel“); HESSTVEDT u. andere (2.2) nehmen wesentlich höhere Gleichgewichtswerte an. Nach dem HESSTVEDT-Modell könnte der heutige O₂-Pegel der Atmosphäre im Prinzip auch durch Photodissoziation von Wasserdampf entstehen, wenn der freigesetzte Wasserstoffanteil dem System kontinuierlich entzogen wird. Alle diese Modelle berücksichtigen jedoch nicht den Verbrauch des Sauerstoffs bei den irdischen Oxydationsprozessen, als deren Folge ein ständiger Strom von molekularem Sauerstoff in das gebundene Reservoir der Erdkruste strömt.

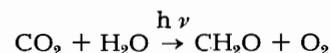
Da bis heute außerdem weitgehend unklar ist, inwieweit ein ausgehender Wasserstoffstrom durch den eingehenden Protonenstrom des Sonnenwindes kompensiert wird, ist eine endgültige Beurteilung des Nettoeffektes der „anorganischen“ O₂-Produktion zusätzlich erschwert. Tatsache ist jedenfalls, daß die nicht biologisch beeinflussten Atmosphären unserer Nachbarplaneten äußerst geringe stationäre O₂-Gehalte zeigen (mit Sicherheit < 1%). Wie weiter unten ausgeführt wird, spricht das Ergebnis einer geochemischen Bilanz zwischen dem insgesamt freigesetzten Sauerstoff und dem in den Sedimentgesteinen gespeicherten organischen Kohlenstoff mit ziemlicher Eindeutigkeit dafür, daß der irdische Sauerstoff nicht durch Photodissoziation von Wasserdampf entstanden sein kann, sondern letztlich biologischer Herkunft sein muß.

Der organische (biologische) photochemische Effekt

Wie wir heute wissen, war die Urzeugung des Lebens aus anorganischen Ausgangsstoffen nur in einem reduzierenden Milieu möglich, so daß die O₂-freie Primordialatmosphäre eine unabdingbare Voraussetzung für die Entstehung des Lebens auf der Erde war. Die ältesten sich selbst replizierenden Eiweißkörper („Eobionten“) müssen somit anaerob gelebt haben, d. h. sie verfügten zur Energiegewinnung anstelle der Sauerstoffatmung über einen primitiven Ersatzmechanismus, die Milchsäuregärung, bei der die energispendenden organischen Verbindungen (speziell Kohlehydrate) zu Milch-

säure abgebaut wurden. Die Nahrung dieser Eobionten waren die abiotisch synthetisierten Aminosäuren des umgebenden Substrats, der sog. „Ursuppe“.

Im Laufe der weiteren Evolution traten jedoch Mutanten auf, die sich von der Aufnahme derartig vorgebildeter organischer Nahrung unabhängig machten und es lernten, körpereigene Substanzen direkt aus anorganischen Ausgangsstoffen aufzubauen. Eine solche Möglichkeit bot die Reduktion von CO₂ zur Kohlehydratstufe (2.3, 2.4), die energetisch am rationellsten bei der Photosynthese der grünen Pflanzen und bestimmter Blaualgen erfolgt. Dabei liefert das Wasser den notwendigen Wasserstoff entsprechend der vereinfachten Gleichung



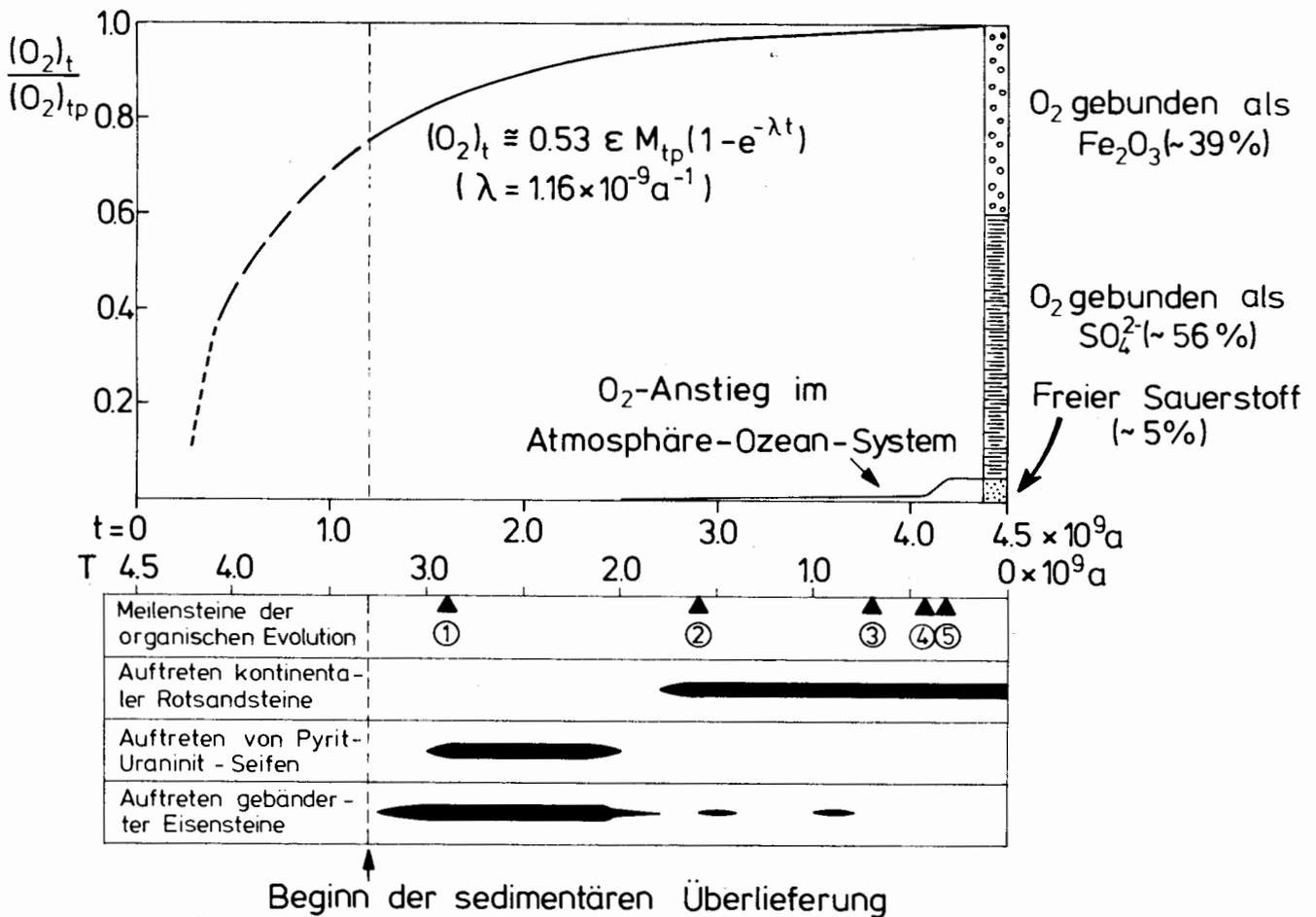
aus Kohlendioxyd und Wasser entsteht also mit Hilfe der Energie eingefangener Lichtquanten organische Substanz (Kohlehydrate), wobei molekularer Sauerstoff als Stoffwechselprodukt produziert wird. Für jedes organisch fixierte Kohlenstoffatom wird dabei ein O₂-Molekül freigesetzt.

Für den Anstieg des Sauerstoffgehalts der Atmosphäre war mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit die Photosynthese als der quantitativ wichtigste biochemische Vorgang auf der Erde verantwortlich. Aufgrund der isotopischen Zusammensetzung des Kohlenstoffs in den ältesten Sedimenten läßt sich durch Modellrechnungen nachweisen, daß der Aufbau eines sedimentären Reservoirs von organischem Kohlenstoff vor mindestens 3,7 Mrd. Jahren eingesetzt hat, und daß zu diesem Zeitpunkt somit die Photosynthese bereits „erfunden“ war (2.5). Den ältesten paläontologischen Hinweis auf eine biologische Sauerstoffproduktion geben fossile Blaualgen-Riffe aus Rhodesien mit einem Mindestalter von 2,9 Mrd. Jahren.

Evolution des irdischen Sauerstoff-Budgets

Aus geochemischen Untersuchungen wissen wir, daß das bei weitem größte Reservoir von organischem Kohlenstoff in den Sedimentgesteinen der Erdkruste vorliegt; die lebende Biomasse ist demgegenüber um 4 Größenordnungen kleiner. Über diesen fossilen organischen Kohlenstoff können wir das freigesetzte Sauerstoff-Äquivalent gemäß der obigen Photosynthese-Gleichung berechnen. Mit Hilfe der Isotopengeochemie des sedimentären Kohlenstoffs und eines plausiblen Modells für die Zunahme der stationären Sedimentmasse als Funktion der Zeit ist es möglich, die Evolution des irdischen Sauerstoff-Reservoirs photosynthetischer Herkunft angenähert quantitativ zu erfassen (2.6). Eine graphische Darstellung dieser Entwicklung gibt Abb. 2.1. Wie die Budgetsäule am rechten Bildrand zeigt, liegen nur ca. 5% des heutigen Gesamtsauerstoff-Reservoirs in der Atmosphäre vor, während die restlichen 95% als Sulfat oder Eisen(III)-Oxyd vorwiegend in den Sedimentgesteinen fixiert wird.

Nach dieser Funktion hätte bereits beim Einsetzen der sedimentären Überlieferung vor gut 3,3 Mrd. Jahren ein stationäres Gesamtsauerstoff-Reservoir von etwa 80%



MEILENSTEINE DER ORGANISCHEN EVOLUTION

- ① Älteste Riffe von Blaualgen (Cyanophyceen)
- ② Älteste Eukaryonten (Lebewesen mit "echtem" Zellkern)
- ③ Älteste Eumetazoen ("Vielzeller")
- ④ Eroberung der Kontinente durch das Leben (Ober-Silur)
- ⑤ Weltweites Auftreten üppiger Kontinental-Floren (Sumpfwälder des Ober-Karbon)

Abb. 2.1

Zunahme des stationären Gesamtsauerstoff-Reservoirs photosynthetischer Herkunft als Funktion der Zeit (2.1), angegeben als Bruchteil des heutigen Reservoirs $(O_2)_{tp}$, das = 1 gesetzt ist. Die Budgetsäule am rechten Bildrand zeigt die Aufteilung von „freiem“ und „gebundenem“ Sauerstoff im heutigen Reservoir (freier Sauerstoff bestreitet nur ca. 5% des Gesamtbudgets!). Bei gleicher Aufteilung hätte beim Einsetzen der sedimentären Überlieferung vor 3.3 Mrd. Jahren (nach geologischer Zeitskala T) bereits ein atmosphärisches Reservoir von etwa 80% des heutigen vorgelegen haben müssen. Dies widerspricht jedoch den geologischen und paläontologischen Befunden, die im unteren Teil des Bildes zusammengestellt sind. Entsprechend dem Auftreten von Pyrit-Uraninit-Schottern und gebänderten Eisensteinen von $T \approx 2 \times 10^9$ Jahren und von oxydierten festländischen Rotsandsteinen danach, dürfte der Anstieg des freien Sauerstoffs nach der unteren Kurve erfolgt sein, deren angenommene Diskontinuität in der jüngsten Erdgeschichte sich auf paläontologische Daten stützt.

der heutigen Größe vorgelegen. Wäre die Verteilung dieses Sauerstoffs zwischen dem „freien“ und dem „gebundenen“ Teilreservoir die gleiche gewesen wie heute (mit 5% des Gesamtsauerstoffs in der Atmosphäre), dann hätte der O_2 -Partialdruck in der damaligen Atmosphäre ebenfalls ca. 80% des heutigen Wertes betragen müssen. Aufgrund der verfügbaren geologischen Evidenz (Abb. 2.1, unterer Teil) wissen wir aber, daß die alte Atmosphäre bis zum Einsetzen der ersten kontinentalen Rotsandsteine (mit 3wertigem — d. h. auf-

oxydiertem — Eisen im Bindemittel) vor etwa 1,8 Mrd. Jahren praktisch sauerstofffrei war. Wir müssen somit zwangsläufig annehmen, daß in der frühen Erdgeschichte ein annähernd modernes Gesamtsauerstoff-Reservoir mit dem Fehlen eines nennenswerten atmosphärischen Teilreservoirs gekoppelt war. Grundsätzlich ist es keinesfalls unmöglich, die 5% Sauerstoff im heutigen freien Teilreservoir noch zusätzlich im gebundenen Reservoir (als Sulfat oder Fe (III) Oxyd) unterzubringen, da die Erdkruste auch jetzt über weitgehend ungenutzte Reduk-

tionsreserven verfügt und wesentlich größere Sauerstoffmengen binden könnte.

Wie an anderer Stelle ausführlich dargestellt wurde (2.6), hat die Verfügbarkeit des Eisens als leicht oxydables $\text{Fe}_{\text{aq}}^{2+}$ im Verwitterungskreislauf vor $> 2 \times 10^9$ Jahren sehr wahrscheinlich dazu geführt, daß sich das Gleichgewicht zwischen O_2 -Produktion und O_2 -Verbrauch bei ganz geringen Sauerstoffkonzentrationen im freien Teilreservoir eingestellt hat. In dem Maße, wie die reduzierenden Bestandteile der Sedimenthülle (im wesentlichen Sulfid-Schwefel und zweiwertiges Eisen) oxydiert wurden, mußte der O_2 -Partialdruck in der Atmosphäre ansteigen, um eine weitere Oxydation zu ermöglichen. Die beträchtliche O_2 -Konzentration in der jetzigen Atmosphäre resultiert also offenbar aus dem Unvermögen der Thermodynamik, eine strikte Kontrolle über die Redox-Bilanz des Systems Atmosphäre-Hydrosphäre-Kruste unter heutigen Bedingungen von Verwitterung und Abtragung auszuüben, so daß sich ein stationärer Zustand erst bei einer ganz merklichen Gleichgewichtskonzentration in der Atmosphäre einstellt.

Nach heutigen Berechnungen enthält die irdische Sedimentmasse heute etwa 10×10^{21} g organischen Kohlenstoff. Gemäß der Photosynthese-Gleichung müßte somit ein stöchiometrisches Äquivalent von 27×10^{21} g Sauerstoff freigesetzt worden sein. Mit $29,8 \pm 8,9 \times 10^{21}$ g kommen jüngste Abschätzungen des irdischen Sauerstoff-Budgets photosynthetischer Herkunft diesem theoretisch berechneten O_2 -Äquivalent äußerst nahe (davon sind jedoch nur $1,3 \times 10^{21}$ g im freien Reservoir). Das Ergebnis dieser „geochemischen Bilanz“ ist somit ein sehr starkes Argument für eine letztlich biogene Herkunft des irdischen Sauerstoffs.

Abb. 2.1 zeigt auch die Kurve des wahrscheinlichen Sauerstoff-Anstiegs im Atmosphäre-Ozean-System, die sich im wesentlichen auf geologische und paläontologische Befunde stützt (infolge der geringen Löslichkeit von O_2 ist der ozeanische Anteil vernachlässigbar klein, so daß diese Kurve praktisch den Anstieg des atmosphä-

rischen Reservoirs widerspiegelt). Ein O_2 -Partialdruck von 10^{-2} des heutigen Wertes (der der Lebewelt den Übergang zur Atmung ermöglichte) war mit Sicherheit vor 700 Mio. Jahren erreicht, da zu diesem Zeitpunkt die ältesten Vielzeller auftreten, für deren Existenz die Atmung die Voraussetzung ist. Annähernd „moderne“ O_2 -Partialdrucke können wir etwa vom Oberkarbon an (350 Mio. Jahre) annehmen. Wie die kontinuierliche Evolution des Säugetierstammes seit der Trias zeigt, dürfte der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre in den letzten 200 Mio. Jahren nur innerhalb geringer Grenzen geschwankt haben.

Literatur

- (2.1) BERKNER, L. V. u. L. C. MARSHALL: The rise of oxygen in the Earth's atmosphere with notes on the Martian atmosphere. Adv. Geophys. 12 (1967) S. 309—331.
- (2.2) HESSTVEDT, E., S. HENRIKSEN u. H. HJARTARSON: On the development of an aerobic atmosphere. A model experiment. Geophys. Norvegica 31 (1974) S. 1—8.
- (2.3) SCHIDLOWSKI, M.: Probleme der atmosphärischen Evolution im Präkambrium. Geol. Rdsch. 60 (1971) S. 1351—1384.
- (2.4) BRODA, E.: Die Entwicklung der bioenergetischen Prozesse. Phys. Bl. 30 (1974) S. 444—456.
- (2.5) JUNGE, Chr., M. SCHIDLOWSKI, R. EICHMANN u. H. PIETREK: Model calculations for the terrestrial carbon cycle: Carbon isotope geochemistry and evolution of photosynthetic oxygen. J. Geophys. Res. 1975 (im Druck).
- (2.6) SCHIDLOWSKI, M., R. EICHMANN u. Chr. JUNGE: Precambrian sedimentary carbonates: Carbon and oxygen isotope geochemistry and implications for the terrestrial oxygen budget. Precambrian Res. 2 (1975) S. 1—69.

3

CHR. JUNGE, Mainz

Das Kohlendioxyd und seine Zunahme

Das CO_2 nimmt unter den atmosphärischen Gasen eine Sonderstellung ein: Zusätzlich zu seiner großen Bedeutung für den Wärmehaushalt der Erde und für das pflanzliche Leben (hierin dem Wasser ähnlich) tritt der Umstand, daß seine Menge als Folge menschlicher Tätigkeit weltweit ansteigt und dies voraussichtlich auch in der Zukunft tun wird. Das Studium des CO_2 -Verhaltens in unserer Umwelt hat daher die Aufmerksamkeit in den vergangenen zwei Jahrzehnten immer stärker angezogen. Dabei zeigte sich, daß der atmosphärische CO_2 -Kreislauf nur als Teil eines umfassenden geochemischen Problems zu verstehen ist. Daneben spielen Fragen der

zukünftigen Entwicklung der Energiewirtschaft bei dem Versuch eine Rolle, die zukünftige Entwicklung des CO_2 abzuschätzen.

Was bestimmt den CO_2 -Spiegel der Atmosphäre?

Das CO_2 der Atmosphäre, heute 320 ppm = 0,032% nach Volumen, steht im Austausch mit dem im Ozean gelösten CO_2 , dieses wiederum befindet sich im chemischen Gleichgewicht mit der Konzentration der Bikarbonationen (HCO_3^-) und der Karbonationen ($\text{CO}_3^{=}$). Die Konzentration dieser Ionen ihrerseits ist durch die der Ca^{++} und H^+ -Ionen im Meerwasser bestimmt. Der CO_2 -Spiegel

der Atmosphäre ist also durch das chemische Verhalten des Georeservoirs Ozean-Atmosphäre festgelegt. In diesem System ist der Gesamtgehalt an CO_2 (neutral gelöstes CO_2 und karbonatische Ionen) im Ozean 60 mal so groß wie in der Atmosphäre. Die Atmosphäre bildet also ein relativ kleines Anhängsel des Reservoirs.

Wie in Beitrag 2 erläutert, ist mit Sicherheit anzunehmen, daß die sehr großen CO_2 -Mengen, die heute als Karbonat oder als organischer Kohlenstoff in den Sedimenten begraben sind, (ca. 10^5 mal so viel wie in der Atmosphäre) als flüchtiger Bestandteil zusammen mit dem Wasser, dem Chlor, dem Schwefel etc. durch vulkanische Vorgänge zunächst in die Atmosphäre gelangten. Dieser Prozeß der Exhalation flüchtiger Stoffe aus dem Erdinnern dauert übrigens, wenn auch stark abgeschwächt, heute noch an. Wäre alles CO_2 in der Erdatmosphäre akkumuliert in Abwesenheit der Ozeane, so hätte die Erde heute eine CO_2 -Atmosphäre von ca. 40 Atmosphären mit ca. 2% N_2 etc. und wäre damit der Zusammensetzung nach (bei Venus auch dem Druck nach) den Atmosphären der Nachbarplaneten ähnlich. Der Grund, weshalb sich im Gegensatz zu Mars und Venus das CO_2 nicht in der Erdatmosphäre akkumuliert hat, ist die Bildung der Ozeane, die offenbar zum Teil bedingt war durch einen günstigen Abstand der Erde von der Sonne. Der Ozean, der wohl schon sehr früh eine ähnliche chemische Zusammensetzung wie heute hatte, war also über den größten Teil der Erdgeschichte hinweg für einen CO_2 -Spiegel der Atmosphäre in der Größenordnung des heutigen verantwortlich. Wie genau allerdings diese chemische Fixierung des CO_2 -Spiegels war, können wir nur vermuten: Sicherlich hat der CO_2 -Spiegel in gewissen Grenzen (um den Faktor drei nach beiden Seiten?) geschwankt, u. a. deshalb, weil die Zeitkonstante der Einstellung dieses chemischen Gleichgewichts etwa 2×10^5 Jahre beträgt. Störungen des Gleichgewichts können deshalb nicht sofort ausgedämpft werden. Solche Störungen sind aber zu vermuten durch das Wirken der verschiedenen CO_2 -Kreisläufe, die dem chemischen Gleichgewicht überlagert sind (3.1).

Die Kreisläufe des CO_2

Wir können folgende Kreisläufe des CO_2 unterscheiden:

1. *Der schnelle biologische Kreislauf*, bedingt durch den Verbrauch des CO_2 während der Wachstumsperiode der Pflanzen und durch die Rückbildung des CO_2 aus abgestorbener organischer Substanz durch Mikroorganismen. Dieser Kreislauf ist außerordentlich rasch, mit einem Jahresumsatz von etwa 5% des atmosphärischen CO_2 und daher einer Umwälzzeit von nur 20 Jahren (siehe auch Abb. 3.1).

2. *Der langsame Kreislauf des organischen Kohlenstoffs*
Etwa 1%₀₀ des jährlich in der Biomasse gebundenen Kohlenstoffs wird in die Sedimente eingebaut. Eine entsprechende Menge wird jedoch regelmäßig der Atmosphäre dadurch wieder zugeführt, daß organischer Kohlenstoff aus den Sedimenten (Kohle, Öl, Kerogen) bei der Verwitterung zu CO_2 oxydiert. Durch diesen Kreislauf wird also der erste Kreislauf wieder ausgeglichen, wie es im

Mittel über längere Zeiträume bei dynamischem Gleichgewicht zu fordern ist. Die Umwälzzeit des atmosphärischen CO_2 durch diesen Kreislauf beträgt etwa 2×10^4 Jahre.

3. Der Karbonat-Kreislauf

Das im Niederschlags- oder Grundwasser gelöste CO_2 löst die Karbonatgesteine als Bikarbonat, das mit den Flüssen ins Meer gelangt. Dieses Bikarbonat wird dann im Meer wieder als Karbonatsediment ausgeschieden, wobei das bei der Verwitterung benötigte CO_2 in die Atmosphäre zurückgeführt wird. Infolge der geologischen Umwälzung der Sedimente ist auch dieser Kreislauf geschlossen. Ein gewisser Anteil der Karbonate, auch des organischen Kohlenstoffs, gelangt auch durch vulkanische Prozesse in die Atmosphäre zurück. Das atmosphärische CO_2 wird durch diesen Kreislauf in etwa 10^5 Jahren einmal umgewälzt.

Grundsätzlich können geochemisch bedingte Unregelmäßigkeiten aller drei Kreisläufe zu Störungen des atmosphärischen CO_2 -Spiegels führen. Für den zweiten Kreislauf ist dies besonders wahrscheinlich, da er den geologischen Bedingungen der Sedimentation und Verwitterung stärker unterworfen ist und das Reservoir des organischen Kohlenstoffs in den Sedimenten sehr groß ist. (Die abbauwürdigen Kohle- und Ölvorräte betragen nur ca. 1%₀₀ des gesamten organischen Kohlenstoffs in den Sedimenten). Wir sind z. Z. Zeuge einer solchen Störung, indem der Mensch die Reoxydation des in den Sedimenten begrabenen organischen Kohlenstoffs außerordentlich beschleunigt.

Der anthropogene CO_2 -Anstieg

Seit Ende des vorigen Jahrhunderts ist der CO_2 -Gehalt der Atmosphäre von etwa 290 auf 320 ppm, also um ca. 10% angestiegen (3.3). Abb. 3.1 zeigt die beste vorliegende CO_2 -Meßreihe. Man erkennt die biologisch bedingte Jahresschwankung und die monotone Zunahme von etwa 0,7 ppm pro Jahr durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe. Ein Vergleich mit den tatsächlich verbrauchten Brennstoffmengen zeigt, daß nur ca. 50% in der Atmosphäre verbleiben. Der Rest wird überwiegend vom Ozean absorbiert. Ein anderer Teil geht in die Biomasse, da der CO_2 -Anstieg die Photosynthese fördert (CO_2 -Düngung).

Bei raschem CO_2 -Austausch Atmosphäre-Ozean und guter Durchmischung des Ozeans würde wegen des großen CO_2 -Gehaltes der Ozeane der atmosphärische Anstieg vernachlässigbar klein bleiben. Der CO_2 -Anstieg in der Atmosphäre ist also im wesentlichen bestimmt durch die Geschwindigkeit und Kapazität, mit der die Pufferreservoirs (Ozean, Biosphäre) das anthropogen produzierte CO_2 aufnehmen können. Es dauert im Mittel ca. 6 Jahre, ehe ein CO_2 -Molekül aus der Atmosphäre in den Ozean übertritt. Weiterhin vollzieht sich die Mischung des Ozeans sehr langsam, etwa einmal in 1000 Jahren. Gut durchmischt ist nur eine dünne Oberflächenschicht von ca. 100 Meter Dicke. Die natürlichen Regelmechanismen innerhalb des Systems Atmosphäre-Ozean arbeiten also viel zu langsam für die „plötzliche“

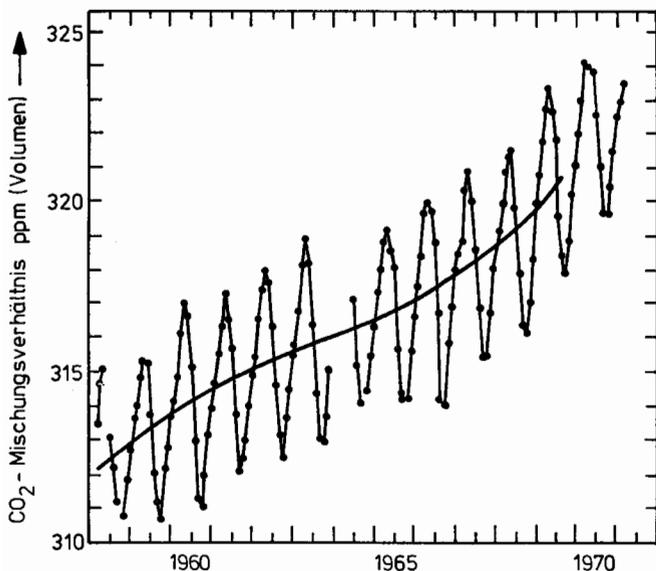


Abb. 3.1

Der CO_2 -Verlauf nach Messungen auf dem in 3000 m Höhe gelegenen Observatorium Mauna Loa auf der Insel Hawaii nach KEELING (siehe (3.3)).

Man erkennt den ausgeprägten Jahresgang, bedingt durch den biologischen Kreislauf. Überlagert ist ein monotoner Anstieg von im Mittel etwa 0.7 ppm pro Jahr. Dieser Anstieg ist in der ganzen Atmosphäre fast gleich als Folge der langen Aufenthaltszeit des CO_2 in der Atmosphäre von ca. 6 Jahren. Der Jahresgang ist dagegen von der geographischen Breite abhängig und auf der Südhalbkugel kleiner.

menschliche Störung. Es kommt hinzu, daß die durch die CO_2 -Aufnahme bedingte „Säuerung“ des Ozeanoberflächenwassers die Aufnahmekapazität des Ozeans weiter herabsetzt. Auch die regulierende Wirkung der oben genannten CO_2 -Kreisläufe ist unwirksam: Beim ersten Kreislauf ist die Größe des Biomasse-Reservoirs unzureichend, beim zweiten und dritten Kreislauf sind die Zeitkonstanten zu groß für menschliche Zeitskalen.

Die zukünftige Entwicklung des CO_2 -Gehaltes in der Atmosphäre

Die Beantwortung dieser wichtigen Frage setzt zweierlei voraus:

1. Eine genügend gute Kenntnis des quantitativen Verhaltens des CO_2 -Systems Ozean-Atmosphäre-Biosphäre. Es sind in den letzten Jahren auf diesem Gebiet gute Fortschritte erzielt worden, aber in wichtigen Punkten, wie z. B. dem Mischungsverhalten der Ozeane, sind unsere Kenntnisse noch sehr lückenhaft.
2. Eine verlässliche Schätzung des zukünftigen Verbrauchs von fossilen Brennstoffen. Solche Schätzungen bleiben naturgemäß mit großen Unsicherheiten behaftet, da hier die Ansichten über die noch verfügbaren Reserven sowie die Vorstellungen über die zukünftige Entwicklung der Energiewirtschaft in sehr grundlegender Weise auseinandergehen. Selbstverständlich muß auch die zukünftige Rolle der Kernenergie und evtl. anderer

Energiequellen berücksichtigt werden. Die bisher vorliegenden Voraussagen des CO_2 -Anstiegs von 1975 bis zum Jahre 2000 liegen etwa zwischen 30 und 50 ppm. Die Schätzungen für Mitte des nächsten Jahrhunderts reichen jedoch schon von einer Verdoppelung bis zur Verfünffachung (3.4, 3.5). Solche Zahlen stellen ohne Zweifel ein ernst zu nehmendes Problem dar. Dies umso mehr, als Jahrzehnte benötigt würden, ehe eine einmal eingetretene Erhöhung des CO_2 -Spiegels wieder abgebaut wäre, im wesentlichen durch die Kombination von langsamer Durchmischung und großer Aufnahmekapazität der Ozeane. Die CO_2 -Verschmutzung kommt langsam, aber mit einer unheimlichen Unabwendbarkeit auf uns zu, da ja unsere gesamte technische Zivilisation auf der Energieerzeugung beruht und sich vorerst kaum ein entscheidender Ersatz für fossile Brennstoffe anbietet.

Die möglichen Auswirkungen des CO_2 -Anstiegs

Vielfach diskutiert ist eine allgemeine Erwärmung. Man kann diesen Effekt aber nur berechnen für den Fall, daß keinerlei Rückkoppelungen mit dem hydrologischen Kreislauf (Wasserdampfgehalt der Atmosphäre, Wolkenbedeckung etc.) oder mit anderen atmosphärischen oder ozeanischen Vorgängen bestehen. Einer Verdoppelung des CO_2 -Gehaltes würde dann eine Erhöhung der mittleren Temperatur der Erdoberfläche von etwa 2 °C entsprechen (3.3). Eine solche Änderung wäre etwas größer als die in den letzten Jahrhunderten beobachteten natürlichen Klimaschwankungen. Es ist jedoch sicher, daß die Nichtberücksichtigung der erwähnten Rückkoppelungen dieses Rechenergebnis weitgehend unsicher macht (3.6). Eine Vorhersage der durch den CO_2 -Anstieg zu erwartenden Klima-Auswirkungen ist deshalb z. Z. nicht möglich.

Es sei zum Abschluß noch auf eine andere wahrscheinliche Auswirkung hingewiesen. Die zunehmende Säuerung der Oberflächenwässer des Ozeans wird es vermutlich Anfang des nächsten Jahrhunderts verschiedenen Tierarten nicht mehr ermöglichen, die lebensnotwendigen Kalkschalen und Skeletteile zu entwickeln. Auch diese Auswirkung ist schwer quantitativ abzuschätzen, aber es ist anzunehmen, daß ihre ökologischen Konsequenzen sehr weitreichend sein werden.

Literatur

- (3.1) SILLEN, L. G.: The ocean as a chemical system. *Science* 156 (1967) S. 1189—1197.
- (3.2) BOLIN, B. u. C. D. KEELING: Large scale atmospheric mixing as deduced from the seasonal and meridional variations of carbon dioxide. *J. Geophys. Res.* 68 (1963) S. 3899—3920.
- (3.3) Study of Man's Impact on Climate (SMIC): "Inadvertent climate modification". MIT Press, Cambridge, Mass., 1971.
- (3.4) ZIMEN, K. E. u. F. K. ALTENHEIN: The future burden of industrial CO_2 on the atmosphere and the oceans. *Naturwissenschaften* 60 (1973) S. 198—199.

(3.5) BACASTOW, R. u. Ch. D. KEELING: Atmospheric carbon dioxide and radio carbon in the natural carbon cycle: II. Changes from A.D. 1700 to 2070 as deduced from a geochemical model.

In "Carbon and the Biosphere", Hrsg. v. G. M.

WOODWELL, E. V. PECAN, U.S. Atomic Energy Commission, August 1973.

(3.6) MÖLLER, F.: On the influence of changes in the CO₂ concentration in air on the radiation balance of the earth's surface and on the climate. J. Geophys. Res. 68 (1963) S. 3877—3886.

4

P. WARNECK, Mainz

Aktuelle Fragen zum Ozonproblem

Die Ozonschicht in der Stratosphäre spielt für den Strahlungshaushalt der Atmosphäre, aber auch in der Luftchemie, eine hervorragende Rolle, obwohl das mittlere O₃-Mischungsverhältnis weniger als 10⁻⁶ Volumenanteile (ppm) beträgt und es örtlich maximal nicht viel mehr als 10 ppm erreicht. Ozon absorbiert fast völlig kurzwelliges (< 300 nm) Sonnenlicht, so daß diese für biologische Prozesse letale Strahlung den Erdboden nicht erreicht. Die absorbierte Energie ist gleichzeitig die Hauptquelle für die Erwärmung der oberen Stratosphäre und führt an der Stratopause (bei ca. 50 km Höhe) zu Temperaturen, die denen am Erdboden gleichen. Ein gründliches Verständnis der chemischen Vorgänge, die die Ozonschicht hervorrufen, ist daher von grundsätzlicher Bedeutung für die Meteorologie und die Luftchemie. Wir beschreiben zunächst die wichtigsten Prozesse im Ozonkreislauf und gehen dann auf die neuen Erkenntnisse betreffend den Einfluß anderer Spurengase ein.

Die wesentlichen Merkmale des Ozonhaushaltes

Das Verhalten des atmosphärischen Ozons ist in Abb. 4.1 a schematisch dargestellt. Bei der photochemischen Ozonbildung sind vier Elementarprozesse von überragender Bedeutung:

1. die Dissoziation von Sauerstoffmolekülen durch Licht im Wellenlängenbereich 180—240 nm,
2. die Anlagerung der entstehenden Sauerstoffatome an molekularen Sauerstoff unter Bildung von Ozon,
3. die photochemische Dissoziation von Ozon im Wellenlängenbereich 200—300 nm und
4. die Zerstörung von Ozon durch Reaktion mit Sauerstoffatomen.

Wenn keine weiteren Prozesse, insbesondere keine Transportprozesse, auftreten, dann führen die vier Reaktionen zu der Ausbildung einer stationären Ozonkonzentration mit einem Maximum bei etwa 23 km Höhe. Diese Art von stationärem Zustand wird in der Literatur häufig als „photochemisches Gleichgewicht“ bezeichnet. Es stellt sich allerdings, wenn überhaupt, nur in dem Höhenbereich oberhalb des Ozonmaximums ein, weil die Zeit, die zur Einstellung des stationären Zustandes benötigt wird, unterhalb des Maximums so groß wird, daß der Einfluß von Transportvorgängen nicht mehr vernachlässigbar ist. Die Einstellzeit beträgt in der Höhe

von 35 km etwa eine Woche, im Höhenbereich des Maximums etwa einen Monat und in 20 km Höhe bereits ein Jahr.

Wegen der besonders intensiven Sonneneinstrahlung in der Nähe des Äquators ist hier die photochemische Aktivität am größten. Trotzdem ist in diesem Breitengürtel der Gesamtgehalt an atmosphärischem Ozon wesentlich kleiner als in mittleren und hohen Breiten, weil ein Teil des Ozons durch die stratosphärische Meridionalzirkulation nach Norden transportiert wird. Der Transport geschieht auf Bahnen ungefähr parallel zur Tropopause. Dabei wird Ozon in ein tiefer gelegenes Reservoir gebracht, wo es der direkten photochemischen Zersetzung entzogen ist. Aus diesem Reservoir gelangt Ozon auf mehreren Wegen in die Troposphäre: 1. durch direkten Transport über die Tropopausenbrüche, wie in Abb. 4.1 a angedeutet, 2. infolge Eddy-Diffusion durch die gesamte Tropopausenfläche und 3. dadurch, daß im Frühsommer in hohen Breiten die Tropopause sich nach oben verlagert und stratosphärische Luft direkt in die Troposphäre eingeschleust wird. In der Troposphäre wird Ozon durch Turbulenz nach unten gebracht und schließlich (hauptsächlich) am Boden zerstört.

Es muß hervorgehoben werden, daß der Verlust an Ozon in der Stratosphäre durch Transport in die Troposphäre nur einige Prozent des Gesamtumsatzes beträgt. Weit aus der größte Teil des Ozons geht durch (photo)chemische Reaktionen am Ort der Ozonbildung verloren.

Quantitative Betrachtungen

Diese zunächst qualitative Beschreibung des atmosphärischen Ozonhaushaltes kann auch mathematisch formuliert und somit eine allgemeine Theorie aufgestellt werden, die eine Berechnung der stationären Ozonkonzentration gestattet. Die in die Theorie eingehenden phänomenologischen Parameter sind Größen wie die Strahlungs-Intensität, die Photodissoziationsquerschnitte, Reaktionskonstanten und Transportkoeffizienten. Bis vor wenigen Jahren waren die meisten dieser Parameter nicht mit genügender Genauigkeit bekannt, um einen quantitativen Vergleich zwischen berechneten und beobachteten Ozonkonzentrationen sinnvoll erscheinen zu lassen, wenn auch die Theorie die wesentlichen Merkmale des Ozonverhaltens wiedergab. Noch heute sind die Transportkoeffizienten mit erheblicher Unsicherheit behaftet. Daher ist eine quantitative Be-

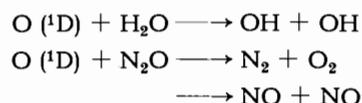
schreibung der Ozonkonzentration in der unteren Stratosphäre noch nicht gegeben. Dagegen ist der Einfluß des Transports in der Region des photochemischen Gleichgewichts oberhalb des Maximums der Ozonkonzentration vernachlässigbar, und man sollte hier eine gute Übereinstimmung von Theorie und Beobachtung erwarten. Die Zahl der auswertbaren Beobachtungen ist relativ gering, weil die meisten Messungen auf den Höhenbereich unterhalb 30 km beschränkt waren. Eine Analyse einiger der vorliegenden Beobachtungsdaten für die Region oberhalb 30 km zeigt jedoch in allen Fällen, daß die theoretischen Berechnungen eine etwa doppelt so große Ozonkonzentration lieferten als den Beobachtungen entsprach. Trotz erheblicher Verbesserungen der in die Theorie eingehenden Koeffizienten fallen also die Ozonwerte zu hoch aus.

Damit war ein erster Hinweis dafür gegeben, daß der in Abb. 4.1 a angegebene Mechanismus der Ozonbildung und -zerstörung nicht ausreicht und möglicherweise weitere chemische Reaktionen am Ozonhaushalt teilnehmen. Diese Erkenntnis führte dazu, den Einfluß anderer Spurengase auf die Ozonchemie in der Stratosphäre zu untersuchen. Ein zusätzlicher Anreiz wurde vor etwa 5 Jahren durch die Möglichkeit gegeben, daß in der Zukunft eine größere Zahl von hochfliegenden Passagierflugzeugen (supersonic transport, SST) zum Einsatz kämen, deren Abgase den Ozonhaushalt stören und eine Abnahme des Gesamt Ozons bewirken könnten. Zweifellos kann eine Abnahme des Gesamt Ozons wegen der Erhöhung der durchgelassenen ultravioletten Strahlungs-Intensität unerwünschte Folgen haben, z. B. ein Anwachsen der Häufigkeit von Hautkrebs. Der amerikanische Kongreß hat daher eine staatliche Förderung bei der Konstruktion von SST-Flugzeugen abgelehnt, und das amerikanische Verkehrsministerium hat mit dem Climatic Impact Assessment Program erhebliche Geldmittel für detaillierte Untersuchungen des natürlichen stratosphärischen Ozonhaushaltes und der möglichen Auswirkungen der SST bereitgestellt. Diese gezielte Förderung brachte innerhalb weniger Jahre eine beträchtliche Erweiterung unserer Kenntnisse von der Chemie der Spurenstoffe in der Stratosphäre. Einige der Ergebnisse, soweit sie den Ozonhaushalt direkt betreffen, werden nachstehend besprochen.

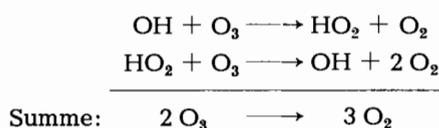
Der Einfluß von Wasserdampf und Stickoxyden

Zwei der wichtigsten Spurengase für die Ozonchemie der Stratosphäre sind Wasserdampf, H_2O , und Distickstoffoxyd, N_2O . Beide gelangen von der Troposphäre aus in die Stratosphäre, obwohl Wasserdampf zusätzlich bei der Oxydation von Methan und Wasserstoff in der Stratosphäre entsteht. H_2O und N_2O reagieren nicht direkt mit Ozon, sondern greifen auf einem Umweg in die Ozonchemie ein. Eine Reihe von Laboratoriumsexperimenten hat ergeben, daß die Sauerstoffatome, die bei der Photodissoziation von Ozon im Wellenlängenbereich 200—300 nm entstehen, nicht im Grundzustand 3P auftreten, sondern sich im nächst höheren elektronischen Anregungszustand 1D befinden. Die meisten dieser angeregten Sauerstoffatome verlieren ihre Anregungsenergie sehr schnell durch Stöße mit Stickstoff- und

Sauerstoffmolekülen. Deshalb ist der direkte Einfluß der $O(^1D)$ Atome auf den Ozonhaushalt vernachlässigbar klein. Ein kleiner Teil der $O(^1D)$ Atome reagiert jedoch mit den Spurengasen, und die daraus entstehenden Reaktionsprodukte können den Ozonhaushalt katalytisch beeinflussen. Speziell die eben erwähnten Spurengase H_2O und N_2O , die normalen Sauerstoffatomen (im Grundzustand) gegenüber inert sind, reagieren rasch mit $O(^1D)$ Atomen nach folgendem Schema

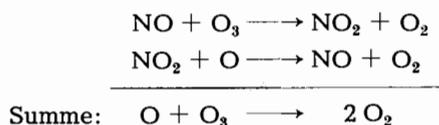


Dabei entstehen OH und NO. HUNT (4.9) hat als erster den katalytischen Einfluß der Wasserradikale (OH, HO_2) auf die Ozonchemie diskutiert und vermutet, daß die Ozonkonzentration durch die Reaktionskette



reduziert wird. Die Reaktionskoeffizienten waren allerdings nur ungenau bekannt. Diese Parameter sind inzwischen aus Laboratoriumsexperimenten mühsam ermittelt worden. Die Reaktionen der Wasserradikale mit Ozon erwiesen sich als langsamer als ursprünglich angenommen, so daß diese Reaktionen allein nicht für die beobachtete Verminderung der Ozonkonzentration im Höhenbereich unterhalb 40 km in Betracht kommen. Die Anwesenheit von Stickoxyden wirkt sich dagegen wesentlich stärker aus.

Die katalytische Zerstörung von Ozon durch Stickoxyde wird im wesentlichen der Reaktionsfolge



zugeschrieben, auf die JOHNSTON (4.3) und CRUTZEN (4.4) zuerst hingewiesen haben. Um die berechneten und beobachteten Ozonkonzentrationen im Höhenbereich des photochemischen Gleichgewichts in Einklang zu bringen, genügen einige 10^{-9} Volumenanteile (ppb) an Stickoxyden, die durch Oxydation von N_2O durchaus aufgebracht werden können. Möglicherweise ist eine weitere Quelle, wenigstens in hohen Breiten, die Oxydation von Stickstoff als Folge der Ionisierung durch kosmische Strahlung. Neben N_2O , NO und NO_2 treten mehrere höhere Stickoxyde auf, deren Reaktionen ebenfalls von Bedeutung sind. Die Chemie der Stickoxyde in der Stratosphäre wird dadurch sehr kompliziert und kann hier nicht im Detail dargelegt werden. Es soll aber noch auf die Wechselwirkung von Wasserradikalen und Stickoxyden aufmerksam gemacht werden. Zum Beispiel ist die Bildung von Salpetersäuredämpfen zufolge der Reaktion



von Bedeutung, weil sie NO_2 bindet und damit die katalytische

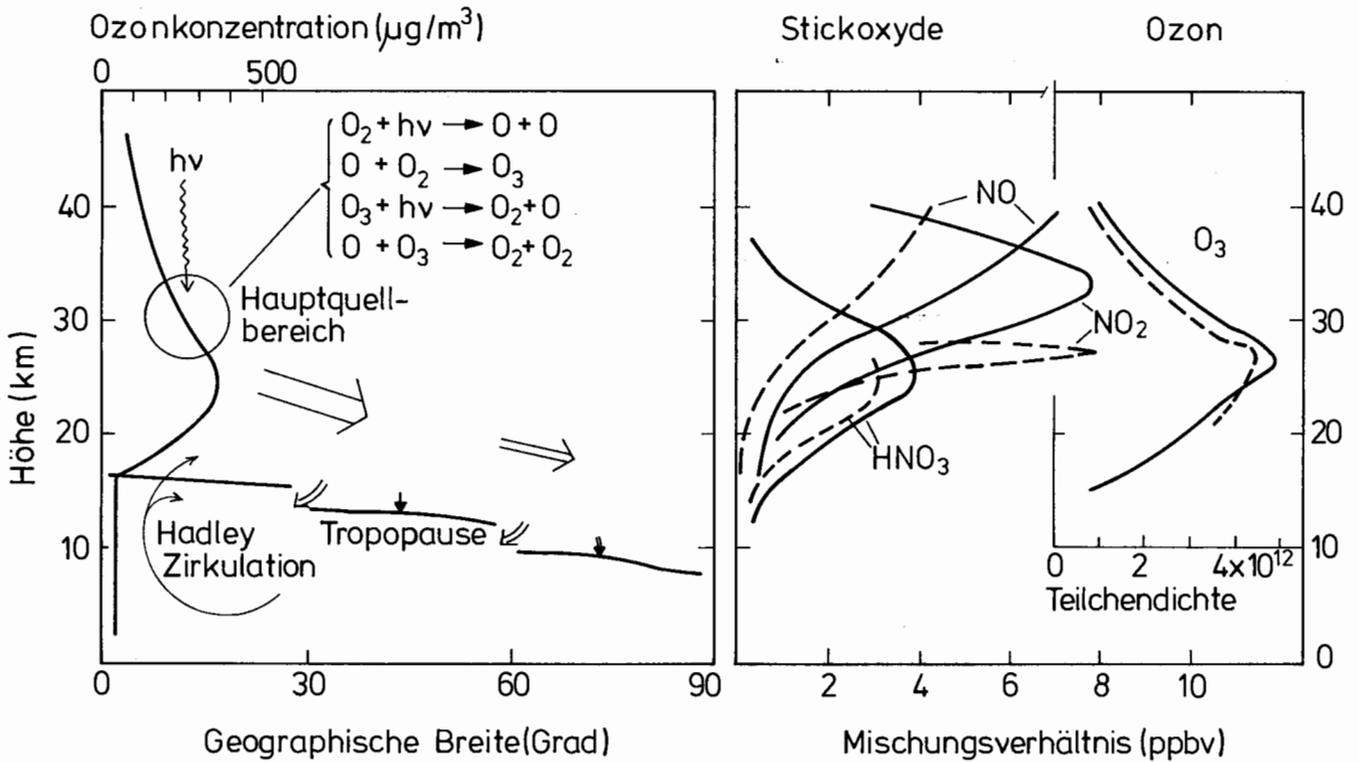


Abb. 4.1

(a) Tropisches Ozonprofil und schematische Darstellung des Ozonhaushalts; Reaktionen im Quellgebiet (Kreis); Transport in Richtung der Pfeile in der Winter-Hemisphäre (nach DUETSCH, Ref. 1);

(b) Vergleich berechneter und beobachteter Konzentrationen von Ozon und der Volumenmischungsverhältnisse von NO, NO₂ und HNO₃ (nach CRUTZEN, Ref. 1); Messungen gestrichelte, Berechnungen ausgezogene Linien.

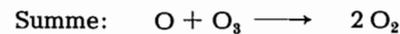
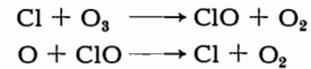
lytische Zerstörung von Ozon durch die NO/NO₂ Reaktionsfolge herabsetzt.

Nachdem verschiedene theoretische Arbeiten den Einfluß der Stickoxyde auf den Ozonhaushalt sowie den Zusammenhang mit den anderen Spurengasen deutlich gemacht hatten, wurden zugleich Anstrengungen zur Messung der Stickoxydkonzentrationen der Stratosphäre unternommen. Einige der in den letzten Jahren erzielten Ergebnisse für NO, NO₂ und HNO₃ sind in Abb. 4.1 b zusammengefaßt. Es wurden hauptsächlich spektroskopische Verfahren im infraroten Spektralbereich benutzt, obwohl HNO₃ auch durch Sammlung auf speziellen Filtern und NO mit einem Chemilumineszenzverfahren untersucht werden. Obwohl die Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Ergebnissen nicht übermäßig gut ist, ist der Größenordnungsbereich abgesteckt. Erstaunlicherweise ergibt die theoretische Behandlung, die nun mit der Einbeziehung von über 60 verschiedenen chemischen Reaktionen überaus kompliziert geworden ist, nicht nur mit den beobachteten Ozonkonzentrationen, sondern auch mit denen der beobachteten Stickoxyde eine quantitativ recht gute Übereinstimmung. Diese Ergebnisse sind ebenfalls in Abb. 4.1 b wiedergegeben.

Der Einfluß von Chlorkomponenten

In jüngster Zeit hat die wirtschaftliche Entwicklung die Befürchtungen, daß die Stickoxydabgase einer größeren Flotte von SST-Flugzeugen die Stratosphäre vergiften könnten, abklingen lassen. Dafür ist ein neues Problem

aufgetreten, das mit der katalytischen Zerstörung von Ozon durch Chloratome aufgrund der schnellen Reaktionskette:



zusammenhängt.

Es ist bis heute nicht bekannt, wie groß die natürliche Konzentration der Chlorkomponenten in der Stratosphäre ist, noch sind die Hauptbestandteile chemisch identifiziert worden. Beobachtungen in der unteren Troposphäre ergaben, daß die Meere eine Quelle einer gasförmigen Chlorverbindung sind (Mischungsverhältnis $\sim 10^{-9}$). Man nimmt an, daß es sich dabei um HCl handelt, von dem ein Teil natürlich auch in die Stratosphäre gelangt. Mit weit geringeren Konzentrationen wurden kürzlich CCl₄, CFCl₃ und CF₂Cl₂ identifiziert. Die letzten beiden Substanzen gehören zu den Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffen, die als Treibmittel in den Haushaltssprühdosen und Kühlschränken verwendet werden. Pro Jahr werden weltweit etwa 8×10^5 Tonnen dieser Gase industriell produziert. Sie sind chemisch äußerst inert, und man kennt keine Reaktionen, die ihren Abbau in der Troposphäre bewirken könnten. Die direkte photochemische Zersetzung benötigt sehr kurzwelliges Licht und wird daher erst in Höhen oberhalb 30 km wirksam. Dadurch ergibt sich für die Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe eine beträchtliche atmosphärische Lebensdauer (mehr

als 30 Jahre). Mit zunehmender industrieller Produktion würden sich die Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre anreichern (MOLINA und ROWLAND, (4.5)).

Man kann abschätzen, daß sie in etwa 15—20 Jahren in der Stratosphäre Konzentrationen erreichen, die ausreichen, um das diffizile natürliche chemische Gleichgewicht der Ozonschicht zu stören und einen zusätzlichen Abbau von Ozon zu verursachen. Die quantitative Behandlung dieser Art von Einfluß ist zunächst noch spekulativ, da die notwendigen Messungen der industriellen Chlorkomponenten in der Stratosphäre fehlen. Eine abschließende Beurteilung läßt sich daher nicht geben.

Die Entwicklung der letzten 10 Jahre hat gezeigt, wie außerordentlich kompliziert die Chemie der Stratosphäre ist und hat zu einer dementsprechenden Spezialisierung der luftchemischen Forschung auf diesem Gebiet geführt. Die Entwicklung ist sicher nicht abgeschlossen und kann noch weitere überraschende Ergebnisse bringen.

Literatur:

- (4.1) Zusammenfassende Übersichtsreferate: Aeronomy of the stratosphere and mesosphere. IAGA Symposium, Kyoto, Japan, Sept. 1973, Canad. J. Chemistry 52 (1974) No. 8.
- (4.2) HUNT, B. G.: Photochemistry of ozone in a moist atmosphere. J. Geophys. Res. 71 (1966) S. 1385—1398.
- (4.3) JOHNSTON, H. S.: Reduction of stratospheric ozone by nitric oxide catalysts from supersonic transport exhaust. Science 173 (1971) S. 517—522.
- (4.4) CRUTZEN, P.: Ozone production rates in an oxygen-hydrogen-nitrogen oxide atmosphere. J. Geophys. Res. 76 (1971) S. 7311—7327.
- (4.5) MOLINA, M. J. and F. S. ROWLAND: Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine-atom-catalyzed destruction of ozone. Nature 249 (1974) S. 810—812.

5

W. SEILER, Mainz

Der Kreislauf von CO, H₂, N₂O und CH₄

Wir beginnen mit diesem Beitrag die Diskussion der wichtigsten Gase der Gruppe 3, deren mittlere Konzentration durch ihren Kreislauf bestimmt ist. In diesem Beitrag wollen wir uns mit einer Gruppe von Spurengasen befassen, die alle relativ hohe Mischungsverhältnisse im Bereich von etwa 0.1 bis 1.0 ppm (Volumen) haben, verhältnismäßig reaktionsträge sind und dadurch bedingt mittlere troposphärische Aufenthaltszeiten von etwa 0,2 bis 10 Jahren haben. Ihre Bedeutung für die Atmosphäre basiert darauf, daß sie am komplexen Chemismus des Ozons in der Stratosphäre teilnehmen.

Allgemeine Bemerkungen zum Kreislauf atmosphärischer Spurengase

Bevor wir auf Einzelkreisläufe eingehen, seien einige allgemeine Bemerkungen vorangestellt. Mittelt man die Quellen und Senken über Zeitspannen, die länger sind als die mittlere Aufenthaltszeit der Gase, aber nicht kürzer als ein Jahr, um jahreszeitliche Schwankungen auszuschalten, so muß für diese Gase der stationäre Zustand

$$Q = S (M)$$

sehr angenähert gelten, wo Q und S die Summe aller Quellen und Senken bedeutet und M die Gesamtmenge des Gases in der Troposphäre. In nahezu allen Fällen ist dabei, wie angedeutet, $S = S(M)$ eine Funktion von M, jedoch nicht Q, so daß M und damit auch das mittlere Mischungsverhältnis des Gases durch obige Beziehung festgelegt ist. Die mittlere Verweilzeit τ eines Spurengases ist dann gegeben durch

$$\tau = M/Q = M/S.$$

Die Größen Q, S, M und τ bestimmen den atmosphärischen Kreislauf eines Gases. Wegen der beiden obigen Relationen genügt jedoch die Kenntnis von nur zwei Größen, wobei M am leichtesten der Messung zugänglich ist.

Der Kreislauf der Spurengase ist wegen der Vielzahl der Quellen und Senken meist sehr komplex. Es ist bemerkenswert, welche wichtige Rolle dabei die Land- und Meeresoberfläche sowie mikrobiologische Prozesse spielen. Wenn wir die Troposphäre als abgeschlossenes Reservoir betrachten, stellen eventuelle Flüsse durch die Tropopause Quellen oder Senken dar. Sehen wir vom Ozon ab, wo der Fluß durch die Tropopause die Hauptquelle darstellt, spielen allerdings diese Flüsse im Kreislauf der troposphärischen Spurengase nur eine untergeordnete Rolle.

Eine Reihe von Spurengasen, wie z. B. CO, H₂, SO₂, haben auch merkliche anthropogene Quellen. Die obigen Beziehungen lassen erwarten, daß M dadurch etwa im gleichen Verhältnis angehoben wird, wie Q durch den anthropogenen Anteil vergrößert wird. Die Kenntnis der natürlichen Kreisläufe ist also von grundlegender Bedeutung für eine Beurteilung der globalen Auswirkungen der Luftverschmutzung, und ihr Studium ist deshalb ein wichtiges Anliegen atmosphärischer Forschung.

Der Kreislauf des Kohlenmonoxyds

Eine Übersicht über wichtige Kreislaufparameter der in diesem Abschnitt besprochenen „ppm-Gase“ gibt Tabelle 5.1. CO ist ein sehr schönes Beispiel dafür, wie komplex der Kreislauf eines Spurengases sein kann. Bis vor wenigen Jahren wurde allgemein angenommen, daß

das CO ausschließlich durch anthropogene Quellen (Auto, Industrie, Hausbrand) erzeugt wird. Da keine Senken bekannt waren, vermutete man eine langsame Akkumulation in der Atmosphäre, was verständlicherweise zu Besorgnis Anlaß gab. Heute kennen wir verschiedene natürliche CO-Quellen und Senken, so daß CO als natürlicher Bestandteil der Atmosphäre betrachtet werden muß, dessen mittlere Gleichgewichts-Konzentration lediglich durch die anthropogenen Quellen angehoben wurde.

Von den in Tabelle 5.1 angeführten Daten für CO ist die anthropogene Quelle recht gut bekannt, ebenso die des Ozeans. Diese beiden Quellen entsprechen in etwa der Summe der mikrobiologischen Senken am Boden und des Flusses in die Stratosphäre (5.1).

Ungewiß ist z. Z. noch der Einfluß photochemischer Prozesse in der Troposphäre, die einerseits durch die Oxydation des Methans durch OH zu einer CO-Bildung, andererseits aber auch durch die Reaktion des CO mit OH zu einem CO-Abbau führen kann. Die OH-Radikale entstehen wie in der Stratosphäre durch photochemische Vorgänge. Die Abschätzungen dieser CO-Quelle (15 bis 40×10^{14} g/Jahr) als auch der photochemischen CO-Senke ($20-50 \times 10^{14}$ g/Jahr) sind mit erheblichen Fehlern behaftet, da bisher aus meßtechnischen Gründen noch keine Messungen der Konzentration der OH-Radikale in der Troposphäre vorliegen und die zur Abschätzung benutzten OH-Werte lediglich auf theoretischen Betrachtungen basieren.

	CO	N ₂ O	H ₂	CH ₄
Quellen [10 ¹⁴ g/Jahr]				
Anthropogen	6	—	0.3	0.3—0.9
Ozean	1	2	0.04	0.1
Sümpfe	—	—	—	10—14
Photochemie	15—40	—	0.07	—
Erdboden	—	0.5	—	—
Senken [10 ¹⁴ g/Jahr]				
Erdboden	5	?	0.3	—
Photochemie in Tropen	20—50	—	0.06	2—12
Stratosphäre	1	0.3	—	0.6
Mittleres Mischungs- verhältnis [ppmv]				
Südhemisphäre	0.06	0.25	0.550	1.3
Nordhemisphäre	0.15	0.25	0.575	1.4
Mittlere Verweilzeit [Jahre]				
	0.2—1	4—16	4—13	2—12

Tab. 5.1: Übersicht über wichtige Angaben zum Kreislauf der „ppm-Gase“

Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Breitenverteilung des CO in der Troposphäre über dem Atlantik (Abb. 5.1), die kürzlich auch über dem Pazifik bestätigt werden konnte. Danach werden die höchsten CO-Werte stets in mittleren Breiten der Nordhemisphäre angetroffen. Sie nehmen mit zunehmender Höhe sowie nach Süden und Norden hin ab und erreichen in der Südhemisphäre ein Minimum. Eine solche Verteilung läßt sich nicht durch eine dominierende photochemische CO-Quelle und Senke erklären. Sie weist vielmehr auf einen starken Einfluß der anthropogenen CO-Quelle hin, die im Gegensatz zu den übrigen CO-Quellen im wesentlichen auf die mittleren Breiten der Nordhemisphäre konzentriert ist. Es ist deshalb anzunehmen, daß die bisher veröffentlichten Angaben über die photochemische CO-Quelle und -Senke überschätzt sind. Rechnungen mit einem interhemisphärischen Austauschmodell (5.1) weisen auf vergleichbar große anthropogene und photochemische CO-Quellen. Die mittlere Verweilzeit des CO würde in diesem Fall etwa 3—5 Monate betragen.

Der Kreislauf des Distickstoffoxyds

Im Gegensatz zum CO wird der Kreislauf des N₂O ausschließlich durch natürliche Prozesse bestimmt. Das N₂O gehört zu den wenigen Spurengasen, die im Vergleich zu den heute bekannten Gasen bereits früh, d. h. im Jahre 1939, in der Atmosphäre nachgewiesen werden konnten. Seit dieser Zeit sind zahlreiche Messungen des N₂O-Mischungsverhältnisses in der Atmosphäre durchgeführt worden, die eine Aussage über die globale N₂O-Verteilung zulassen. Danach ist das N₂O bei einem mittleren Mischungsverhältnis von 0.25 ppm (5.2) gleichmäßig zwischen den Hemisphären verteilt. Es unterliegt innerhalb der Troposphäre langzeitigen Schwankungen, die bis heute noch nicht geklärt werden konnten. Oberhalb der Troposphäre nimmt das N₂O-Mischungsverhältnis mit zunehmender Höhe ab, was mit berechneten stratosphärischen Abbauraten übereinstimmt.

N₂O wird durch mikrobiologische Aktivität im Boden und im Oberflächenwasser der Ozeane erzeugt (Tab. 5.1). Einer geschätzten Gesamtproduktion von 2.5×10^{14} g/Jahr würde eine mittlere Verweilzeit von ca. 8 Jahren entsprechen. Unsicher sind zur Zeit noch Aussagen über die Senken des N₂O. Die photochemische Senke in der Stratosphäre reicht keineswegs aus, um die N₂O-Quellen auszugleichen. Es müssen demnach noch weitere Senken in der Troposphäre vorhanden sein. Da N₂O ein inertes Gas ist, scheiden Reaktionen mit anderen Gasen in der Troposphäre aus. Es liegt die Vermutung nahe, daß das N₂O durch Mikroorganismen in verschiedenen Bodenarten abgebaut wird. Das troposphärische N₂O ist der Hauptlieferant der Stickoxyde, die zu einer Reduktion des stratosphärischen Ozons beitragen.

Der Kreislauf des Wasserstoffs

Bis vor kurzem wurde der Wasserstoff als ein ausschließlich natürlicher Bestandteil der Atmosphäre angesehen. Die wenigen vorliegenden Messungen des H₂ mit Hilfe diskontinuierlicher Methoden erlaubten keine Rück-

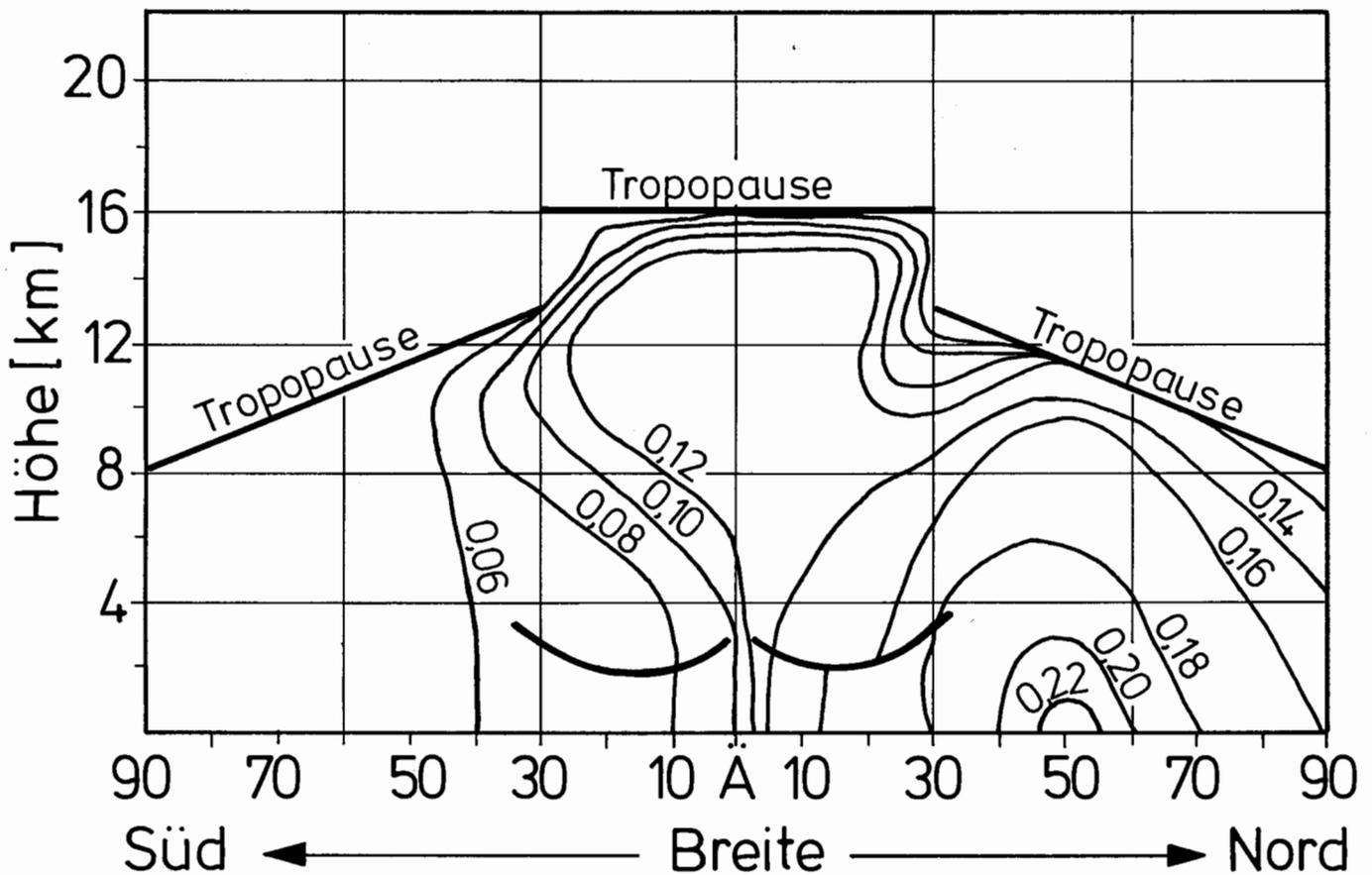


Abb. 5.1
 Etwas idealisierter Querschnitt der globalen CO-Verteilung in der Troposphäre über dem Atlantischen Ozean (5.1). Die dicken Linien deuten die Tropopause und die Passatinversionen an.

schlüsse über die wesentlichen Züge seiner globalen Verteilung und damit über seinen Kreislauf. Erst durch den Einsatz eines kontinuierlich arbeitenden H_2 -Meßgerätes (5.3) in Flugzeugen und auf Schiffen konnte ein Unterschied zwischen den Atmosphären nachgewiesen werden, der mit 5% sehr gering, aber wegen der Vielzahl der Meßwerte statistisch gesichert ist. Danach beträgt das H_2 -Mischungsverhältnis in der Nordhemisphäre 0.575 ppm und in der Südhemisphäre 0.550 ppm. An der Tropopause wurde keine Änderung des H_2 -Mischungsverhältnisses gefunden.

Dieser Unterschied zwischen den Hemisphären kann nur schwer durch die hemisphärische Verteilung der natürlichen H_2 -Quellen, d. h. die mikrobiologische H_2 -Produktion im Oberflächenwasser der Ozeane und in Sümpfen (0.04×10^{14} g/Jahr) bzw. durch die photochemische H_2 -Bildung bei der Reaktion des Methan mit OH (ca. 0.07×10^{14}) erklärt werden, aber auch nicht durch die hemisphärische Verteilung der Senken, d. h. der mikrobiologischen Prozesse am Erdboden (0.3×10^{14}) oder dem photochemischen Abbau des H_2 durch die Reaktion mit OH (ca. 0.06×10^{14}) (5.3). Eine mögliche Erklärung dieses interhemisphärischen H_2 -Unterschiedes wäre die Existenz einer im wesentlichen auf die Nordhemisphäre beschränkten anthropogenen H_2 -Produktion, die inzwischen auch durch H_2 -Messungen in anthropogen verschmutzten Luftmassen sowie durch direkte H_2 -Messung

in Autoabgasen nachgewiesen und abgeschätzt werden konnte (0.3×10^{14}). Diese erste Abschätzung der anthropogenen H_2 -Quelle ist natürlich noch unsicher. Sie scheint jedoch zu zeigen, daß die anthropogene H_2 -Produktion einen erheblichen Beitrag zur H_2 -Produktion leistet und somit der H_2 -Kreislauf entgegen der bisher vertretenen Meinung stark vom Menschen beeinflusst ist.

Der Kreislauf des Methans

Wegen seiner relativ hohen Konzentration wurde bereits vor 25 Jahren mit CH_4 -Messungen in der Troposphäre begonnen, die bis zum heutigen Zeitpunkt weitergeführt und auf die Südhemisphäre und die Stratosphäre ausgedehnt wurden. Sie geben uns einen recht guten Überblick über die horizontale und vertikale Verteilung des CH_4 in der Troposphäre und Stratosphäre. Danach ist das CH_4 in der Troposphäre der Nordhemisphäre bei einem CH_4 -Mischungsverhältnis von 1.4 ppm recht gleichmäßig verteilt. Lediglich in anthropogen stark verschmutzten Luftmassen wurden höhere Werte (bis 10 ppm) gefunden. Erste CH_4 -Messungen in der Südhemisphäre über dem Südpazifik deuten auf ein etwa 10% geringeres Mischungsverhältnis hin, so daß — wie beim CO und H_2 — auch für das Methan ein Niveauunterschied zwischen den beiden Hemisphären besteht, der wichtige Aufschlüsse über die globale Verteilung der Quellen und Senken liefert. Oberhalb der Tropo-

pause nimmt die Methan-Konzentration mit zunehmender Höhe langsam ab und erreicht in 50 km Höhe einen Wert von 0.25 ppm (5.4).

Demgegenüber ist unsere Kenntnis über die Quellen und Senken des Methans in der Atmosphäre noch unbefriedigend. Wir wissen, daß Methan durch Mikroorganismen bei der Zersetzung organischen Materials unter anaeroben Verhältnissen in Reisfeldern, Sümpfen und sehr wahrscheinlich auch im Erdboden in feuchten tropischen Gebieten ähnlich wie H_2 produziert wird. Die Abschätzung dieser CH_4 -Quellen ist allerdings insofern schwierig, als bisher CH_4 -Emissionsdaten lediglich unter Labor-Bedingungen gemessen wurden. Unter plausiblen Annahmen ergibt sich ein Schätzwert von $10-14 \times 10^{14}$ g/Jahr. Geringe CH_4 -Mengen (ca. 0.1×10^{14}) werden — ebenfalls durch mikrobiologische Prozesse — auch im Oberflächenwasser der Ozeane und verschiedener Seen gebildet. Gegenüber den natürlichen Quellen ist die anthropogene CH_4 -Produktion durch Industrie und Automobile mit $0.3-0.9 \times 10^{14}$ g/Jahr gering und damit der CH_4 -Kreislauf noch praktisch ungestört.

Den überwiegend mikrobiologischen CH_4 -Quellen stehen im wesentlichen nur 2 Senken gegenüber: Einmal der relativ sicher abschätzbare Fluß in der Stratosphäre, wo CH_4 durch OH und atomaren Sauerstoff abgebaut wird und eine andere, die photochemische Oxydation des CH_4 durch OH in der Troposphäre selbst, deren Stärke aber wegen der unsicheren Angaben über die OH-Konzentration nur schwer abzuschätzen ist. Alle bisher veröffentlichten Abbauraten beruhen ausschließ-

lich auf theoretisch berechneten OH-Konzentrationen.

Es ist z. Z. nicht bekannt, ob auch mikrobiologische Senken existieren. Wir kennen zwar verschiedene Mikroorganismen, die unter aeroben Bedingungen CH_4 oxydieren, aber alle Versuche an verschiedenen Bodenarten zeigen im Gegensatz zum CO und H_2 keinen Einfluß auf das CH_4 .

Die Kreisläufe der vier diskutierten Gase demonstrieren sehr gut, wie unsicher unsere heutigen Kenntnisse noch sind. An sich sollten die Summe der Quellen und Senken in Tab. 5.1 Null ergeben. Dies ist nicht der Fall, und es ist durchaus möglich, daß außer der bisherigen Ungenauigkeit der Daten noch weitere Quellen und Senken dieser Gase entdeckt werden.

Literatur:

- (5.1) SEILER, W.: The cycle of atmospheric CO, *Tellus* 26 (1974) S. 116—135.
- (5.2) HAHN, J.: Nitrous oxide in air and sea water over the Atlantic ocean, In: Nobel Symposium 20: The Changing Chemistry of Oceans (ed. Dyrssen und Jaeger), New York: Wiley (1972) S. 53—69.
- (5.3) SCHMIDT, U.: Molecular hydrogen in the atmosphere, *Tellus* 26 (1974) S. 78—90.
- (5.4) EHHALT, D. H.: The atmospheric cycle of methane, *Tellus* 26 (1974) S. 58—70.

6

CHR. JUNGE, Mainz

Die Atmosphäre als Transportmittel toxischer Stoffe

Es gibt eine Reihe von Spurenstoffen in der Atmosphäre, die in solch geringen Konzentrationen vorkommen, daß sie weder irgendeine meteorologisch-klimatologische noch eine direkte biologische Bedeutung haben. Das Interesse der Luftchemie an diesen Stoffen beruht auf folgenden Umständen, die ihnen mehr oder minder gemeinsam sind:

1. Sie lagern sich relativ langfristig in gewissen Teilen der Organismen als Folge ihrer chemischen Eigenschaften ab.
2. Als Folge davon reichern sie sich in der Nahrungskette an und erreichen an deren Ende für die betreffenden Organismen toxisches Niveau.
3. Die Atmosphäre spielt die Hauptrolle bei ihrer regionalen und globalen Verbreitung.

Diese Stoffe werden von den anthropogenen Quellgebieten durch die Atmosphäre in weit entfernte Gebiete verfrachtet, werden dort aus der Atmosphäre ausgeschieden und gelangen so in wichtige Lebensbereiche, z. B. Meeresgebiete, wo sie den Weg durch die Nahrungskette antreten können. Dadurch können toxische Aus-

wirkungen, die sonst mehr oder minder lokal beschränkt bleiben würden, regionale oder globale Bedeutung erlangen. Die all diesen Stoffen gemeinsame luftchemische Fragestellung, die hier auftaucht, kann so formuliert werden: Welche chemischen usw. Eigenschaften dieser Stoffe ermöglichen in Verbindung mit den Prozessen der Atmosphäre eine günstige Kombination von längerem Verweilen in und einem Ausscheiden aus der Atmosphäre, um solche Transporte wirksam werden zu lassen. Es ist klar, daß solche Kombinationen zwischen zwei Extremen liegen müssen: Wenn ein Stoff gar keine Möglichkeit hat, luftgetragen zu werden, scheidet die Atmosphäre als Transportmedium aus. Gelangt ein Stoff in die Atmosphäre, kann aber nicht wieder ausgeschieden werden, kann er auch keinem Lebensbereich auf dem Lande oder im Meer zugeführt werden.

Transport- und Abscheidefragen

Der Transport durch und die Abscheidung aus der Atmosphäre ist in der Geologie schon seit längerem bekannt: Z. B. von den Lößablagerungen während der Eiszeiten und von der chemischen Zusammensetzung von Böden

und abgeschlossenen Gewässern usw. Die Bedeutung des atmosphärischen Transports für toxische Substanzen der genannten Art wurde aber erst in den letzten zehn Jahren richtig erkannt, nachdem u. a. klar wurde, daß Transport durch Flüsse oder Meeresströmungen die beobachteten Verteilungen nicht erklären konnten (6.1). Diese Fragen hängen eng mit einem wichtigen Spurenstoffparameter zusammen, der Aufenthaltszeit T. Wir wollen zunächst die Bedeutung von T für den globalen Transport besprechen und uns dann der Frage zuwenden, wodurch T bestimmt wird.

Es läßt sich zeigen, daß Stoffe, deren Aufenthaltszeit größer als etwa 0.5 Jahre ist, sich recht gleichmäßig in der ganzen Troposphäre verteilen. Für solche Stoffe sind also die Einzelheiten der atmosphärischen Zirkulation nicht mehr von Bedeutung unter der Voraussetzung, daß diese Stoffe über längere Zeiträume in die Atmosphäre gelangen, was ja für die anthropogene Produktion meist zutrifft (6.2).

Ist die Aufenthaltszeit eines Stoffes wesentlich kürzer, z. B. nur wenige Wochen, so spielen die Transportvorgänge der Atmosphäre eine entscheidende Rolle für die Art der Ausbreitung. Für eine Abschätzung sind dabei folgende charakteristische Zeiten nützlich: Die Zeitdauer der Ausbreitung in lateraler Richtung innerhalb einer Hemisphäre ist etwa 2 Monate, in longitudinaler Richtung wegen der Zonalzirkulation kürzer. Der Austausch zwischen den Hemisphären ist erheblich behindert und dauert im Mittel etwa 1 Jahr, so daß kurzlebige Spurenstoffe, wie z. B. alle Aerosole, keine Chance haben, von einer Hemisphäre in die andere zu gelangen.

Wodurch ist nun die Aufenthaltszeit eines Spurenstoffes in der Troposphäre bedingt? Der wichtigste Vorgang, durch den Stoffe aus der Atmosphäre ausgeschieden werden, ist das Auswaschen durch Niederschläge, das teils in der Wolke, teils unterhalb der Wolke stattfindet (siehe Beitrag 10). Durch den Vorgang werden in sehr wirksamer Weise alle Stoffe erfaßt, die als Aerosole vorliegen, oder die als Gase chemisch oder physikalisch rasch an Aerosole oder durch hohe Wasserlöslichkeit an Wassertröpfchen gebunden werden, wie z. B. SO_2 . In diesen Fällen resultieren Aufenthaltszeiten von wenigen Tagen bis zu wenigen Wochen. Stoffe, die jedoch in Gasform vorliegen, chemisch inert und nicht oder nur gering wasserlöslich sind, können nur schwer wieder aus der Atmosphäre entfernt werden. Das beste Beispiel sind Edelgase, wie das im Reaktorbetrieb freiwerdende Krypton 85. Aber auch die hier interessierenden toxischen Stoffgruppen wie die Pestizide usw. zeichnen sich durch solche Eigenschaften aus, so daß vermutet werden kann, daß sie relativ lange troposphärische Aufenthaltszeiten besitzen und damit eine globale Verbreitung erreichen. Wir stehen allerdings erst ganz am Anfang, die Frage nach dem Zusammenhang zwischen den Eigenschaften und der resultierenden troposphärischen Aufenthaltszeit solcher Stoffe näher zu studieren. Diese Frage ist nicht nur grundsätzlich interessant, sondern hat auch im Hinblick auf die potentielle Ausbreitungsfähigkeit von neuen Stoffen große praktische Bedeutung.

Pestizide

Das bisher am besten bekannte Beispiel toxischer Stoffe der genannten Art ist das in den Bombentesten produzierte, durch die stratosphärische Zirkulation weltweit verbreitete und sich in Knochen langfristig ablagernde ^{90}Sr . Infolge der starken Reduktion atmosphärischer Bombenteste und guter Darstellungen des Problems in der Literatur wollen wir hier nicht näher darauf eingehen. Eine wichtige Stoffgruppe, die in den letzten zehn Jahren die Aufmerksamkeit stark auf sich gelenkt hat, sind die Pestizide. Unter diesen Sammelbegriff faßt man alle chemischen Stoffe zusammen, die als Pflanzenschutz-, Schädlings- und Pflanzenbekämpfungsmittel eingesetzt werden. Die Zahl der im Handel erhältlichen Stoffe ist recht erheblich und ihre chemische Zusammensetzung variabel und komplex. In vielen Fällen sind es ringförmige Kohlenwasserstoffe, in denen Wasserstoff durch Chloratome ersetzt sind, aber auch Schwefel und Phosphor spielen in der Zusammensetzung eine Rolle.

Seit dem zweiten Weltkrieg verwendet, ist das DDT der am besten bekannte und untersuchte Vertreter dieser Stoffklasse. Es wird bei der Anwendung meist als Lösung oder in anderer Form versprüht oder fein verteilt, so daß es sich auf die Pflanzen niederschlagen kann, aber auch Gewässer und Böden werden behandelt. Wegen seiner chemischen Stabilität und auch der seiner unmittelbaren chemisch sehr ähnlichen Abbauprodukte wird es heute weltweit im Boden, in Gewässern und im Gewebe der Tiere und des Menschen angetroffen. Wenn wir von akuten Vergiftungen von Feldtieren im lokalen Bereich der Anwendung absehen, verursacht durch meist unkontrollierte Verwendung, ist es ziemlich sicher, daß auch die allgemeine Umweltbelastung zu Schäden geführt hat. Nachweislich betroffen sind z. B. Raubvögel, die das Ende der Nahrungskette darstellen, und in deren Fett man weltweit DDT nachgewiesen hat. Bei mehreren Arten sind die Schalen der Gelege so dünn geworden, daß der Nachwuchs gefährdet wird und die Populationen abgenommen haben. Bei den Säugetieren und beim Menschen hat man direkte Auswirkungen der allgemeinen Umweltbelastung durch DDT und andere Pestizide bisher nicht nachweisen können. Inzwischen ist die Verwendung von DDT in einigen Ländern z. B. in den USA und der Bundesrepublik untersagt, aber viele Länder, vor allem in den Tropen, sind auch heute noch auf die Verwendung von DDT angewiesen. Andere Pestizide sind wesentlich weniger studiert als DDT bezüglich allgemeinen Umweltverhaltens, scheinen aber bisher wohl keine so starke Verbreitung und daher auch keine vergleichbaren Auswirkungen zu zeigen.

Das DDT besteht im wesentlichen aus zwei chlorinierten Benzolringen, ist chemisch sehr stabil, praktisch wasserunlöslich, aber gut löslich in Fetten, weshalb es sich bevorzugt in fetthaltigen Gewebeteilen ablagert und langsam anreichert. Da in gewissen Gebieten regelmäßig DDT verwendet wurde, wurde die Frage nach dem Verbleib des DDT in der Umwelt wichtig. Es zeigte sich nun, daß das DDT von den Pflanzen und Böden in einem Maße verschwindet, das nicht durch Gewässerabfluß oder biologischen Abbau erklärt werden kann. Man konnte schließlich nachweisen, daß offenbar der

größte Teil des applizierten Materials langsam in die Atmosphäre verdampft, trotz des sehr niedrigen Dampfdrucks von 10^{-7} mm Hg bei 25 °C. Typische beobachtete Halbwertszeiten in Böden liegen z. B. bei 3 Jahren, so daß lokal nach einer gewissen Zeit eine weitere Akkumulation nicht mehr eintrat. Damit wurde klar, daß für den Abtransport und die großräumige Verteilung die Atmosphäre in erster Linie verantwortlich ist. Man schätzt z. B., daß von einer Weltproduktion von ca. 10^5 Tonnen im Jahre 1972 etwa $\frac{1}{4}$ durch die Atmosphäre in die Ozeane gelangte.

Man hat in der Tat DDT in der Luft und im Niederschlag gefunden, nicht nur in Gebieten, wo es verwendet wurde, sondern selbst über dem tropischen Atlantik. Da die Erkenntnis des luftgetragenen Transportes erst relativ neu ist, sind die vorliegenden Daten sehr spärlich, so daß wir uns noch kein Bild machen können über die atmosphärische Verteilung, in welcher Form es in der Luft vorliegt, ob in der Gasphase oder weitgehend am Aerosol gebunden, d. h. welche Aufenthaltszeit es vermutlich hat. Es scheint aber, als ob die entlegensten Teile der Erdoberfläche das DDT durch atmosphärischen Transport und Auswaschen durch Niederschlag erhalten. Ähnliches ist von anderen Pestiziden anzunehmen, die meist höhere Dampfdrucke besitzen, aber oft chemisch nicht so stabil sind, jedoch liegen hier noch so gut wie keine Angaben vor.

Polychlorinierte Biphenyle

Die Glieder dieser Stoffgruppe, kurz PCBs genannt, bestehen aus zwei Benzolringen, in denen eine gewisse Zahl von Wasserstoffatomen durch Chlor ersetzt sind. Im Gegensatz zu den Pestiziden werden die PCBs nicht absichtlich vom Menschen in die Umwelt gebracht. Man entdeckte ihre weite Verbreitung nur durch Zufall und nimmt an, daß das Verbrennen von Abfallölen oder Müll, der Plastikmaterialien enthält oder das Entweichen

aus Abwässerkläranlagen die Hauptquellen darstellen. Nur ein kleiner Teil der industriell für verschiedene Zwecke hergestellten PCBs sind anscheinend bisher in die Umwelt gelangt.

Infolge ihrer großen chemischen Beständigkeit, geringen Wasser- und hohen Fettlöslichkeit (allerdings höheren Dampfdrucken) verhalten sie sich ähnlich wie DDT in der Nahrungskette. Sie sind in ähnlicher Weise global verbreitet, und es sind starke Hinweise vorhanden, daß sie ähnliche Brutschäden hervorrufen wie das DDT. Die Verbreitung der PCBs kennt man vor allem aus Messungen in Geweben von Vögeln und Fischen, z. B. im Atlantik, wo man meist Verhältnisse PCB/DDT von 1 bis 10 fand. Die ersten Messungen in der Luft selbst wurden kürzlich vom Atlantischen Seegebiet östlich der USA veröffentlicht mit Konzentrationen zwischen etwa 0.05 bis 5×10^{-9} g/cm³, wobei alles in der Gasphase vorzuliegen scheint. Dies würde auf relativ lange troposphärische Aufenthaltszeiten hindeuten und damit die globale Verbreitung verständlich machen.

Literatur:

- (6.1) EDWARDS, C. A.: Environmental pollution by pesticides. London, New York: Plenum Press 1973.
- (6.2) JUNGE, C. E.: Transport mechanism for pesticides in the atmosphere. In: Proceedings des III. Internationalen IUPAC-Kongresses über Pestizid-Chemie, Helsinki, 2. bis 9. Juli 1974; in Vorbereitung als Sonderband in „Pure and Applied Chemistry“ der UPAC im Butterworth-Verlag, London.
- (6.3) HARVEY, G. R. u. W. G. STEINHAEUER: Atmospheric transport of polychlorobiphenyls to the North Atlantic. Atmospheric Environment 8 (1974) S. 777—782.

Problem- und Diskussionsecke

„Technoklimatologie“ oder „etwas anderes“?

Im Heft 4/73, das der Technoklimatologie gewidmet ist, schrieb CASPAR in seinem Eingangsbeitrag: „Die Probleme beginnen mit dem Namen“ und führte dann Bezeichnungen an wie „Technische Klimatologie“, „Technoklimatologie“, „Technische Meteorologie“. Er schloß mit der Feststellung, daß vom erweiterten Sachgebiet her eigentlich die Bezeichnung „Technische Meteorologie“ am treffendsten und zugleich zukunftsweisend sei. Nur die Kritik von der sprachlichen Seite her bleibt dieselbe wie für den Namen „Technische Klimatologie“.

Mir scheint, daß der sprachliche Nachteil auszuschalten ist durch Wahl eines völlig anderen Ausdrucks, wenn er nur für beide Seiten des Doppelnamens denselben Sachverhalt wiedergibt. Ich schlage daher vor, für den zweiten Teil den allgemeineren Ausdruck „Meteorologie“ an Stelle von „Klimatologie“ zu verwenden und für den ersten Teil den Ausdruck „Technik“ durch den in etwa synonymen Ausdruck „Ingenieur“ zu ersetzen. Damit sollte das ganze Gebiet

„Ingenieur-Meteorologie“

heißen. Dieser Name steht in voller Übereinstimmung mit Ausdrücken, die sich längst eingebürgert haben, so z. B. Ingenieurmathematik, Ingenieurgeologie.

Als Lehrfach auf den Studienplänen Technischer Hochschulen, wie es CASPAR fordert, und wie es offenbar, nach seinen Ausführungen, bisher nur in Braunschweig vorhanden ist, würde die geänderte Bezeichnung kürzer und zugleich einprägsamer, aber auch attraktiver sein als z. B. „Einführung in die Meteorologie für Studenten des Bauingenieurwesens“. Eine Nachahmung bei anderen Technischen Hochschulen, an welchen die Lehrkapazität vorhanden ist, käme sicher sowohl den Bedürfnissen der Ingenieurfächer als auch dem Ansehen der Meteorologie zugute.

A. HOFMANN, Bad Homburg

Institute stellen sich vor

Das Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz, Abteilung: Chemie der Atmosphäre und Physikalische Chemie der Isotope



Abb. 1

Hauptflügel des Max-Planck-Institutes für Chemie, in dem die Abteilung Chemie der Atmosphäre und physikalische Chemie der Isotope untergebracht ist.

Das Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut) in Mainz ist das Nachfolge-Institut des in Berlin-Dahlem im Jahre 1944 durch Kriegseinwirkungen zerstörten Kaiser-Wilhelm-Institutes für Chemie der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. An diesem Institut entdeckte 1938 Otto HAHN zusammen mit F. STRASSMANN die Kernspaltung des Urans und des Thoriums, wofür er 1945 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurde. Das Institut trägt seitdem den Namen „Otto Hahn“. Nach provisorischer Unterkunft im süddeutschen Raum gegen Kriegsende wurde das Institut im Frühjahr 1949 im Gelände der Universität Mainz neu eingerichtet. Es widmete sich seitdem neben kernphysikalischen Arbeiten und Untersuchungen zur genauen Massenbestimmung der Elemente in immer stärkerem Maße kosmochemischen Fragen wie der chemischen und isotopischen Zusammensetzung von Meteoriten und deren Altersbestimmung sowie von atmosphärischen Bestandteilen. Es nahm auch als eines der ganz wenigen Institute in der Bundesrepublik an der analytischen Bearbei-

tung der von den Apolloflügen heimgebrachten Proben von Mondmaterial teil. Diese Situation war der Anlaß dafür, daß nach der Emeritierung des damaligen Direktors J. MATTAUCH der Unterzeichnete im Herbst 1968 als Nachfolger berufen wurde. Er hatte in der Zeit ab 1962 das Meteorologische Institut der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz geleitet. Mit dieser Berufung erfolgte eine Neugliederung des Institutes in die folgenden Abteilungen:

Abteilung für Massenspektroskopie
und Isotopenkosmologie

(H. HINTENBERGER)

Abteilung für Kernphysik

(H. WAFFLER)

Abteilung für Kosmochemie

(H. WÄNKE)

Abteilung für Chemie der Atmosphäre
und physikalische Chemie der Isotope

(C. JUNGE)

Während die ersten drei Abteilungen im wesentlichen den bisherigen Bestand des Institutes repräsentieren, wurde die letzte Abteilung neu ein-

gerichtet. Da nur diese Abteilung sich mit Problemen der Atmosphäre befaßt, soll auf die anderen Abteilungen in diesem Rahmen nicht weiter eingegangen werden.

In dieser Abteilung wurde es in wesentlich größerem Umfang als bisher an einem meteorologischen Universitäts-Institut möglich, sich gezielt der luftchemischen Forschung zu widmen. Dieses in den letzten 10 bis 20 Jahren in rascher Entwicklung befindliche Teilgebiet atmosphärischer Forschung ist seiner Natur nach stark interdisziplinär ausgerichtet und erfordert nicht nur die Zusammenarbeit von Meteorologen mit Chemikern, sondern auch mit Geologen, Ozeanographen und Mikrobiologen. Der heutige Personalstand der Abteilung spiegelt dies wider: Von den z. Z. tätigen zwanzig Wissenschaftlern sind 8 Meteorologen, 6 Chemiker, 4 Physikochemiker und 2 Geologen. Daneben besitzt die Abteilung noch eine Arbeitsgruppe, die sich unter Leitung von A. KLEMM mit der physikalischen Chemie von Isotopenverbindungen befaßt. Die vier Abteilungen sind in wissenschaftlichen und Haushaltsfragen selbständig; die verwaltungsmäßige Leitung des Gesamtinstitutes ist kollegial mit einem geschäftsführenden Direktor, der im dreijährigen Turnus wechselt.

Eine wesentliche Grundlage der weitgehend experimentell ausgerichteten Arbeitsweise des Institutes sind die sehr leistungsfähigen technischen Einrichtungen des Institutes. Diese umfassen eine große mechanische Werkstatt, eine Elektronik-Werkstatt, eine eigene, sehr spezialisierte Glasbläserei und eine Programmiergruppe.

Die luftchemische Forschung der neu gegründeten Abteilung widmet sich vor allem den *globalen Aspekten der Chemie der unteren Atmosphäre*. Fragen der lokalen Luftverschmutzung werden dabei nur insoweit einbezogen, als sie Beiträge zur Lösung der regionalen oder weltweiten Phänomene liefern können. Die in diesem Sinne definierte Chemie der unteren Atmosphäre, d. h. der Troposphäre und der unteren Stratosphäre, befaßt sich daher weitgehend mit dem Verhalten der noch nicht oder bisher nur wenig vom Menschen beeinflussten Atmosphäre, also mit dem, was man oft als Reingluft bezeichnet. Dieses Gebiet der globalen Luftchemie ist noch weitgehend wissenschaftliches Neuland und daher ein legitimes Feld der Grundlagenforschung. Aber die Ergebnisse dieser Grundlagenforschung sind gleichzeitig von Bedeutung für die Beurteilung möglicher Einwirkungen

des Menschen auf die Gesamtatmosphäre: Erst, wenn wir z. B. die zum Teil sehr komplexen natürlichen Kreisläufe der verschiedenen Spurenstoffe qualitativ und quantitativ verstehen, können wir die anthropogenen Einwirkungen mit Sicherheit abschätzen und eine begründete Vorhersage der zukünftigen Entwicklung geben. Es sei in diesem Zusammenhang nur an das CO_2 und seine durch den Menschen bedingte Zunahme, an den möglichen Einfluß des Überschall-Flugverkehrs auf die Ozonschicht, auf den Einfluß einer Aerosolzunahme auf den Strahlungshaushalt der Erde und neuerdings an die mögliche Auswirkung der Chlorfluormethane auf das stratosphärische Ozon erinnert.

Die Forschung der Abteilung sollte sich jedoch nicht nur auf die Spurenstoffchemie der Atmosphäre beschränken, sondern sollte sich auch aktiv mit der Frage befassen, welche Prozesse die jetzige Konzentration der Hauptgase, wie N_2 , CO_2 und vor allem O_2 bestimmen, und wie diese unsere Erdatmosphäre seit Bildung der Planeten Erde entwickelte. Aus diesem Konzept heraus wurden vier Arbeitsgruppen gebildet, deren Arbeitsgebiete sich wie folgt kurz charakterisieren lassen:

1. Spurengase der Atmosphäre: Die Aufgabe dieser Gruppe ist die Aufklärung der geochemischen Kreisläufe der Spurengase in der Atmosphäre. Zur Zeit sind folgende Spurengase in die Untersuchung einbezogen: N_2O , CO , H_2 , Kohlenwasserstoffe, SO_2 , Hg und Chlorfluormethane. Zum Studium des Kreislaufs gehört als Voraussetzung eine verlässliche Bestandsaufnahme der Verteilung in der Atmosphäre sowie die qualitative und quantitative Erfassung der globalen Quellen und Senken, natürliche und anthropogene. Die Messung in der Atmosphäre setzt meist als ersten Schritt die Entwicklung geeigneter und genügend empfindlicher Meßverfahren voraus, und wir sind leider gezwungen, einen erheblichen Arbeitsanteil auf dieses Problem zu verwenden. So konnten u. a. mit Erfolg automatisch registrierende Geräte für das CO und H_2 entwickelt werden, mit deren Hilfe die Kreisläufe dieser Gase weiter geklärt werden konnten.

2. Aerosole der Atmosphäre: Die grundlegende Aufgabe dieser Gruppe ist die Aufklärung der Bildung und der Dynamik des atmosphärischen Reinluft-Aerosols. Dies beinhaltet das Studium ihrer Größenverteilung, der

chemischen Zusammensetzung sowie der Modifikationsprozesse und ihrer Verteilung in der Atmosphäre. Zur Zeit konzentriert sich die Arbeit u. a. auf die organischen und mineralischen Komponenten des Aerosols, über die noch sehr wenig bekannt ist.

3. Reaktionen von Spurengasen in der Atmosphäre: Diese Gruppe befaßt sich mit dem Studium der Reaktionen von Spurengasen innerhalb der Atmosphäre. Aus der Vielfalt der anstehenden Probleme werden zur Zeit

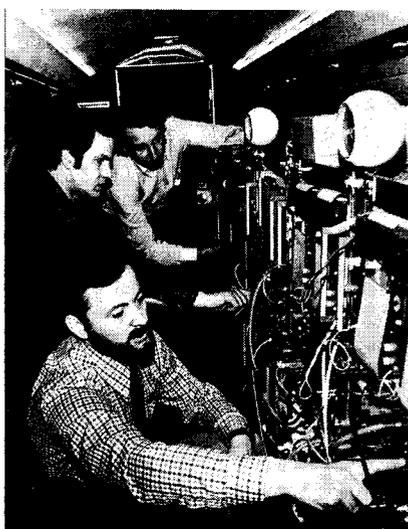


Abb. 2
Interhemisphären-Flug mit der HS 125 im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 73 — Atmosphärische Spurenstoffe — zur globalen Erfassung der Spurengase CO , H_2 , CO_2 , O_3 und Hg . Teilnehmer (von vorn): W. Seiler und U. Schmidt (beide Mainz) und R. Schmitt (Frankfurt).

Foto: Leuschner, Düsseldorf

u. a. der Abbaumechanismus des CH_4 durch Radikale wie das OH studiert, da dies wichtige Erzeugungsprozesse für CO und H_2 bilden. Die in geringen Spuren vorhandenen Radikale spielen eine bedeutende Rolle für das chemische Verhalten vieler Spurengase, und ihre Erforschung ist von grundlegender Bedeutung. Ein wichtiges Radikal ist der atomare Sauerstoff, für dessen Messung in der Stratosphäre ein Meßverfahren entwickelt werden konnte.

4. Entwicklung der Erdatmosphäre: Diese Arbeitsrichtung muß sich auf die

Geologie und Geochemie abstützen, wo entscheidende Vorarbeiten geleistet wurden. Die besondere Aufgabe dieser Gruppe besteht darin, dieses Wissen, zusammen mit eigenen Untersuchungen an Sedimenten und Modellrechnungen, für die Frage nach der Entwicklung der Erdatmosphäre und nach den Prozessen, die ihre heutige Zusammensetzung bestimmen, nutzbar zu machen. Dazu dienen z. B. Isotopenmessungen des Kohlenstoffs, der chemofossile Nachweis der Photosynthese und das Studium von eingelagerten Gasresten in sehr alten Sedimenten.

Ein zentrales Thema der Abteilung ist, wie erwähnt, die Aufklärung des Kreislaufes atmosphärischer Spurenstoffe und als Voraussetzung dafür deren globale Verteilung. Dies erfordert Teilnahme an Schiffsexpeditionen, Messungen der großräumigen Horizontalverteilung mit kommerziellen Flugzeugen in der oberen Troposphäre sowie der Vertikalverteilung. Dabei sind die Unterschiede zwischen den Hemisphären von besonderem Interesse, und dies war der Grund für eine kürzlich durchgeführte globale Erfassung der Spurengase CO , H_2 , CH_4 , N_2O , CO_2 und Hg in Zusammenarbeit mit dem meteorologischen Universitätsinstitut Frankfurt am Main von 50°N bis 60°S bis zur Höhe von 12 km.

Die Abteilung Luftchemie ist Mitglied des *Sonderforschungsbereiches 73 „Atmosphärische Spurenstoffe“*, dem auch die Universitätsinstitute für Meteorologie in Frankfurt und Mainz angehören. Der dadurch gebildete Schwerpunkt luftchemischer Forschung in der Bundesrepublik hat sich durch seine Arbeiten internationales Ansehen erworben. Das im gleichen und folgenden Heft behandelte Thema der Chemie der unteren Atmosphäre gibt einen guten Querschnitt über die Arbeiten dieses Forschungsbereichs.

Das Max-Planck-Institut für Chemie nimmt dank seiner günstigen Lage mitten im Universitätsbereich regen Anteil an der *Lehrfähigkeit der Universität*. An der Abteilung für Luftchemie werden Diplomarbeiten und Dissertationen in Meteorologie, Chemie, Physikochemie und Geologie durchgeführt. Drei Mitglieder der Abteilung sind Hochschullehrer (C. JUNGE, Meteorologie, P. WARNECK, Physikochemie, beide in Mainz, und M. SCHIDLÓWSKI, Mineralogie, Heidelberg).

C. JUNGE, Mainz
und Mitarbeiter

Das Meteorologische Observatorium Hohenpeißenberg des Deutschen Wetterdienstes



Zur Geschichte:

Die meteorologischen Beobachtungen auf dem Hohen Peißenberg begannen am 1. Januar 1781 im Rahmen der Societas Meteorologica Palatina, einer Einrichtung, die vom Kurfürsten KARL THEODOR von der PFALZ gegründet wurde. Die Beobachtungen wurden von den Augustiner Chorherren des Klosters Rottenbuch in ihrer Niederlassung auf dem Hohen Peißenberg durchgeführt. Neben den meteorologischen Beobachtungen wurden auch teilweise astronomische Beobachtungen, erdmagnetische und luftelektrische Messungen sowie phänologische Beobachtungen angestellt. Nach der Säkularisation (1803) setzten die Pfarrer von Hohenpeißenberg die Beobachtungen fort. 1806 übernahm die Bayer. Akademie der Wissenschaften die Station; sie bestimmte den Pfarrherrn zum Observator, den Schullehrer der auf dem Berg befindlichen Schule zum Gehilfen. 1838 ging die fachliche Aufsicht an die Sternwarte München über. Ende 1878 wurde der Hohe Peißenberg in das Stationsnetz der neu gegründeten meteorologischen Zentralanstalt in München, der späteren Bayer. Landeswetterwarte, eingegliedert. 1934 übernahm der Reichswetterdienst die Station. 1940 erfolgte der Umzug vom Klosterbau in das neu errichtete Gebäude am westlichen Ende des Gipfels. Am 1. März 1950 wurde die Beobachtungsstation im Rahmen des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone

erneut ein Meteorologisches Observatorium. Es ist die älteste Bergwetterstation der Erde mit praktisch ununterbrochener Beobachtungsreihe seit nahezu 200 Jahren.

Albin SCHWAIGER, „regulirt Chorfürstlicher Witterungs-Akademie Mitglieder, und meteorologischen Observatorn auf dem Hohen Peißenberg“ stellte bereits 1792 bei seinem „Versuch einer meteorologischen Beschreibung des hohen Peißenbergs als eine nöthige Beylage zu dessen Prospektkarte“ fest:

„Dieser hohe, einzelne, und von den Tyrolgebürgen ganz abgesonderte Berg ist im Reiche der Schöpfung ein Original der seltensten Vorzüge. So wie er von allen Seiten her wegen seiner sanft erhabenen und romantischen Lage das reizendste Ansehen darbeit; so eröffnet er auch in einen unermeßlichen Bezirk des Himmels und der Erde die mannigfaltigste, feyerlichste Aussicht, und ist daher sowohl zur Stern- als Witterungskunde der auslesenste Ort, den man sich irgend wünschen darf.“

Seine Aussage ist heute, im Zeitalter elektronischer Fernerkundung, noch genauso gültig.

Aufgaben und Arbeiten:

Mit einem kleinen Arbeitsteam begann 1950 Johannes GRUNOW mit Forschungsarbeiten auf dem Gebiet

der *Geländeklimatologie* und der *Niederschlagsphysik*. Seine Untersuchungen erstreckten sich hauptsächlich auf indirekte Aerologie aufgrund der kristallinen Struktur der festen Niederschläge und auf den Einfluß der Gebirgsverhältnisse auf die Niederschlagsmessung. 1965 kamen im Rahmen eines Meßbeitrags zum Internationalen Jahr der ruhigen Sonne (IQSY) Arbeiten zur *Struktur der Atmosphäre*, besonders des Ozongehalts hinzu. Etwa gleichzeitig liefen die Vorbereitungen zu Versuchen zur quantitativen Flächenniederschlagsmessung mit Hilfe eines *Radargerätes* an. 1967 übernahm Walter ATTMANNSPACHER die Leitung des Observatoriums, das in den folgenden Jahren instrumentell zu einer modernen Zweckforschungsinstitution des Deutschen Wetterdienstes ausgebaut werden konnte. Das Observatorium ist heute auf den Gebieten *Radarmeteorologie*, *Niederschlagsphysik* und *Struktur der Atmosphäre* tätig. Es sieht seine Aufgabe darin, durch seine Tätigkeit mitzuhelfen, die wissenschaftlichen und instrumentellen Grundlagen des Wetterdienstes weiter zu verbessern. Zur Durchführung dieser Aufgabe ist das Observatorium in 3 Arbeitsgruppen gegliedert, denen jeweils ein Wissenschaftler als Dezent vorsteht.

Das Dezernat „*Radarmeteorologie*“ befaßt sich zur Zeit hauptsächlich mit der Aufgabe, eine Arbeitsmethode zu finden, um in der Praxis brauchbare quantitative Flächenniederschlagsmessungen mit Hilfe eines Radargerätes gewinnen zu können. Die ersten Versuche dazu begannen 1968 mit einem X-Band-Radar (Wellenlänge 3.2 cm), das aufgrund seiner Wellenlänge, seiner Leistung und seiner Elektronenröhrenbestückung nur bedingt für diesen Zweck geeignet war. Es gelang jedoch, nach elektronischer Stabilisierung des Gerätes, aufgrund weitgehend manueller, später halbautomatischer Messung und Verarbeitung mit Hilfe der sogenannten Aneichmethode gute Meßergebnisse für Einzelfälle zu erhalten, bei denen die beim X-Band starke Dämpfung der Radarenergie durch den Niederschlag selbst vernachlässigt oder bedingt korrigiert werden konnte. Für den Vergleich mit den Radarflächenniederschlagsresultaten wurde ein eigenes Regenschreiber-Vergleichsnetz im Norden bzw. Osten des Hohen Peißenbergs auf einer Fläche von ca. 750 km² bis zu einer Tiefe von 30 km eingerichtet. Messungen der Tropfenspektren der Niederschlags- und Ombrometermeß-

ergebnisse dienen als Grundlage für Untersuchungen auf dem Gebiet der Niederschlagsphysik und zur Verbesserung der in die Radargleichung eingehenden meteorologischen Größen.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Wasserbau III der Universität Karlsruhe wurde begonnen, eine Methode zur Vorhersage von Hochwasserlagen von Flüssen aufgrund der Flächenniederschlagsmessung mittels Radar zu entwickeln. Die ersten Versuche mit dem X-Band-Radar sind sehr ermutigend. Für diese Untersuchungen steht in Zukunft ein modernes C-Band-Radar (Wellenlänge 5.4 cm) mit digitalem Ausgang zur Verfügung. Das Gerät ist direkt an eine elektronische Datenverarbeitungsanlage angeschlossen, so daß eine „on-line“-Bearbeitung der Meßdaten möglich wird.

Das Dezernat „Freie Atmosphäre, Ozon“ befaßt sich hauptsächlich mit dem Spurengas Ozon in der freien Atmosphäre und in Bodennähe. Messungen des Gesamtzongehalts in der Atmosphäre über dem Observatorium, des vertikalen Profils des Ozons und kontinuierliche Registrierungen des bodennahen Ozongehalts im internationalen Rahmen dienen als Grundlage für Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen meteorologischen Größen und dem Ozongehalt der Atmosphäre. Das Ozon gewinnt bei Betrachtungen im Rahmen von Umweltfragen zunehmend an Bedeutung. Die Ozonsondierungen und die Messungen des bodennahen Ozongehalts auf dem Hohen Peißenberg repräsentieren dabei praktisch ungestörte Verhältnisse, da aufgrund der Lage urbane und industrielle Verschmutzungen verschwindend gering, meist überhaupt nicht erkennbar sind. Die naßchemische Ozonmessung gehört in den Aufgabenbereich der Mikrochemie; erst die Kenntnis der Güte der international eingesetzten Ozonsonden gestattet eine sinnvolle Verarbeitung ihrer Meßergebnisse. In Zusammenarbeit mit der Internationalen Ozonkommission und der WMO wurden deshalb 1970 auf dem Hohen Peißenberg im internationalen Rahmen 6 Typen naßchemischer Ozonsonden durch Ballonflüge mit Tandemsondengespanspannen miteinander verglichen. Das Ergebnis war erfreulich, es zeigte, daß die regelmäßig im internationalen Betrieb eingesetzten Sonden praktisch gleiche Meßergebnisse liefern. Mit den hier gebauten Geräten zur Messung des bodennahen Ozons wurden 1970 erstmals, in der Zwischenzeit mehrfach, extrem hohe Werte des Ozonpartial-

drucks (bis zu 500 nbar) für 15 bis 30 Minuten gemessen. Neben gerätetechnischen Voraussetzungen ist sicher die Lage des Observatoriums dafür verantwortlich, daß derartige extrem hohe Werte bisher nur hier an einer ortsfesten Stelle gemessen werden konnten.

Das Dezernat „Entwicklung und Betrieb“ hat die Aufgabe, die für die Forschungsarbeiten erforderlichen, im Handel nicht erhältlichen Meßgeräte zu entwickeln und zu bauen. So wurde z. B. für die genaue ganzjährige Niederschlagsmessung an einem Punkt das digitale Ombrometer HP entwickelt. Es wurde der Prototyp des Bodenzonmeßgerätes HP gebaut und die gerätetechnische Voraussetzung zur halbautomatischen Aufnahme des Radarschirmbildes geschaffen.

Eine hier konzipierte Digitalanlage digitalisiert und integriert über eine Stunde alle regelmäßig am Observatorium gemessenen meteorologischen Daten, insgesamt 21 Meßgrößen und gibt sie computergerecht auf Lochstanzstreifen aus. Daneben sorgt diese Arbeitsgruppe für den sachgerechten

Betrieb, die Wartung und die Kalibrierung aller eingesetzten mechanischen und elektronischen Meßgeräte; dazu gehören u. a. 2 Radargeräte und 2 elektronische Theodolite. Der Betrieb der elektronischen Datenverarbeitungsanlage fällt ebenfalls in die Zuständigkeit dieses Dezernats.

Eine kleine Gruppe „Geschäftsbetrieb und Auswertung“ erledigt schließlich die notwendige Verwaltungsarbeit und hilft den Dezernaten bei der Auswertung analoger Registrierungen, bzw. digitaler Ausdrücke von Geräten, deren weitere Automation wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Der synoptische und klimatologische Beobachtungsdienst gehört zum Aufgabenbereich der Wetterstation, die im Dachgeschoß des Haupthauses untergebracht ist.

Die Durchführung der gegebenen Aufgaben erfordert eine gute, enge Zusammenarbeit der einzelnen Gruppen des Observatoriums und die Zusammenarbeit mit anderen Instituten und Institutionen auf nationaler und internationaler Ebene.

W. ATTMANNSPACHER,
Hohenpeißenberg

Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen im Fach Meteorologie an den Universitäten der Bundesrepublik Deutschland und West-Berlins im Jahre 1974

Habilitationen

SPETH, Peter (Uni Kiel)

Die Veränderlichkeit der atmosphärischen Zirkulation, dargestellt mit Hilfe energetischer Größen

Promotionen

16

BECK, Rainer (Uni Mainz)

Methode zur Bestimmung der Sauerstoffatom-Konzentration in der Stratosphäre

BOYE, Helga (Uni Hamburg)

Numerische Rechnungen unter Berücksichtigung der Ekman-Schicht in einem baroklinen Vorhersagemodell

FISCHER, Karl Erdmann

(Uni Hamburg)

Einflüsse von freien Inversionen des modifizierten Brechungsindex in der Troposphäre auf die Ausbreitung von cm-Wellen über See innerhalb des radio-optischen Horizonts

FISCHER, Herbert (Uni München)

Verallgemeinertes iteratives Inversionsverfahren zur Bestimmung des atmosphärischen Temperaturprofils

HEINTZENBERG, Jost (Uni Mainz)

Über die Bestimmung der Größenverteilung luftgetragener Partikel mit optischen Methoden

LEYKAUF, H. (TH Darmstadt)

Experimentelle Bestimmung universeller Profile und deren Abhängigkeit von Parametern der atmosphärischen Grenzschicht

MAYER, Helmut (Uni Karlsruhe)

Temperatur und Feuchte in der bodennahen Atmosphäre über Karlsruhe

PEYINGHAUS, W. (Uni Bonn)

Eine numerische Berechnung der Strahlungsbilanz und die Strahlungs-Erwärmung der Atmosphäre im Meridional-Vertikalschnitt

RENNER, Volker (Uni Hamburg)

Der Einfluß der Feuchte auf eine Zyklogene im numerischen Modell

SCHONWIESE, Christian Dietrich

(Uni München)

Schwankungsklimatologie im Frequenz- und Zeitbereich

SCHROERS, H. (Uni Köln)

Integrierende Erfassung atmosphärischer Zustandsgrößen im mikroturbulenten Bereich

TETZLAFF, Gerd (TU Hannover)

Der Wärmehaushalt in der zentralen Sahara

THOMMES, Wilfried (Uni Bonn)

Die Berechnung der Erwärmungsrate durch Kondensation und der transienten Vertikaltransporte und vertikalen Flüsse von Impuls, Wasserdampf und Wärme für ein zonal und zeitlich gemittelttes Klimamodell

WAGNER, Volker (Uni Hamburg)

Zusammenhänge zwischen der troposphärischen Zirkulation und den energetischen Prozessen im Bereich der Hadley-Zirkulation über dem Atlantik

WERGEN, W. (Uni Bonn)

Die spektrale Lösung des Gleichungssystems für ein stationäres, zonal gemittelttes Klimamodell

WUCKNITZ, Jürgen (Uni Hamburg)

Bestimmung der turbulenten Flüsse von Impuls und sensibler Wärme aus Fluktuationmessungen und Struktur des Windfeldes über den Wellen über dem tropischen Atlantik während APEX

Diplom-Hauptprüfungen

TRAMPF, Walter (FUni Berlin)

(Nachtrag für 1973)

Formeln zur Berechnung der Schornsteinüberhöhung speziell für Großemittenten und für kalte Quellen

BLÄSING, J. (FUni Berlin)

Die thermischen und dynamischen Verhältnisse an der ITCZ über Venezuela

CHAROENWONG, S. (Uni Bonn)

Studien zur synoptischen Klimatologie in Zentral-Thailand

DEDENBACH, D. (Uni Bonn)

Darstellung zonal gemittelter atmosphärischer Transporte der Nordhemisphäre in Form von Stromfunktionen

DENSKAT, Ulrich (TU Braunschweig)

Wellen im solaren Wind und deren Dopplerverschiebung

DIETZER, B. (TH Darmstadt)

Der Einfluß der Orographie auf den Zusammenhang zwischen den Häufigkeitsverteilungen des geostrophischen Windes und des Bodenwindes

ERDMANN, Hilger (Uni Kiel)

Die Entwicklung vertikaler natürlicher Orthogonalfunktionen aus einer Serie von Radiosondendaten der Stationen

Erlangen/Stuttgart unter Berücksichtigung des Jahresganges und die meteorologische Interpretation der wichtigsten Funktionen

ESCHER-VETTER, Heidi

(Uni München)

Winderregte Schwingungen von Bauwerken und natürlichen Oberflächen

GUNTHER, Horst (Uni Hamburg)

Untersuchungen über die Windstruktur in der planetarischen Grenzschicht der Atmosphäre nahe der Insel Bimini

HELLMISS, W. (TH Darmstadt)

Struktur der Böigkeit bei hohen Windgeschwindigkeiten

HENNEMUTH, D. (Uni Köln)

Strömungsgesetze in turbulenten Strömungen über glatten und rauhen Oberflächen

HERRMANN, K. (TH Darmstadt)

Vergleich von Ausbreitungsmodellen für Flächenquellen zur Berechnung der Schadstoffkonzentration am Boden

HOFFMANN, Karl (Uni Karlsruhe)

Korrelationen innerhalb der SO_2 -Daten des Meßprogramms Karlsruhe/Wörth und Zusammenhänge mit meteorologischen Parametern

HOFFMANN, U. (FUni Berlin)

Zur Frage der Windverhältnisse im bebauten Stadtgebiet

HOFMANN, Gerhard (Uni München)

Statistik und Vorhersageregeln für Starkregen im Alpenvorland

JONASCH, Brigitte (TU Hannover)

Zusammenstellung von Arbeiten über die Parametrisierung subskaliger orographischer Effekte

KANT, V. (FUni Berlin)

Die Interpretation der Eisverhältnisse im Polargebiet zwischen Baffin Meer und Kara See anhand von Satellitenaufnahmen (Zeitraum 1966—1968, 1973)

KREBS, Lutz-Henning (TU Hannover)

Meteorologische und technische Probleme automatischer Stationen

LEMMERNSIEK, C. (Uni Köln)

Ein Gerät zur Erfassung winderzeugter Pflanzenbewegungen

LIESKE, H. (FUni Berlin)

Die Interpretation der Eisverhältnisse im Polargebiet zwischen Baffin Bai und Kara See anhand von Satellitenaufnahmen (Zeitraum 1969—1972)

MEYER, W. (FUni Berlin)

Zur Frage der Tiefsttemperaturvorhersage, insbesondere Versuch der Übertragung der Methode nach H. REUTER auf Berlin-Dahlem

MULLER, Gerhard (Uni Frankfurt)

Untersuchung der mehrjährigen Variation der Schwefeldioxyd-Konzentrationen der Luft in Frankfurt am Main

OTTE, U. (Uni Bonn)

Ein eindimensionales transitives Klimamodell

RAMPE, G. (TH Darmstadt)

Schadstoffausbreitung im Bereich einer Straße

ROSE, K. (FUni Berlin)

Systematische Untersuchung der Zyklonegenese im baroklinen Modell des Deutschen Wetterdienstes. Untersuchung der dynamischen Feldstruktur im Bereich der Frontalzone im Zusammenhang mit dem Problem der Zyklonegenese

RUDOLF, B. (Uni Bonn)

Ein numerisches Modell zur Berechnung der Wolkenbildung über einem Kühlturm

SCHALLER, Eberhard (Uni München)

Ein experimentelles Modell zur Berechnung der terrestrischen Strahlungsflußdichte und der Flußdichtedivergenz im bodennahen Bereich

SCHUBERT, K. (Uni Köln)

Dynamik und innere Struktur von Wolken und Wolkentypen

STREIT, K. (FUni Berlin)

Untersuchung des Windschutzes ausgedehnter Gebäude auf dem Flughafen Berlin-Tempelhof

VEIT, E. (Uni Köln)

Versuche zur elektronischen Varianzanalyse von Helligkeitsschwankungen

VENT-SCHMIDT, Volker

(Uni Frankfurt)

Modelluntersuchung der Konzentrationsverteilung von Kohlenmonoxyd im Stadtgebiet von Frankfurt am Main. (Die Arbeit wurde mit dem Umweltpreis 1974 der Universität Frankfurt ausgezeichnet)

WAGNER, M. (FUni Berlin)

Entwicklung und Struktur von Kaltlufttropfen

WAGNER, Martin (Uni München)

Energetische Modelle zur Berechnung von Flußtemperaturen

WINDFUHR, H. (FUni Berlin)

Untersuchung über einige stadtklimatische Unterschiede zwischen dem Stadtbezirk Berlin-Tempelhof und dem Villenbezirk Berlin-Dahlem

WINKLER, K. (TH Darmstadt)

Instabilität der Strömung in einer Grenzschicht mit Rossby-Ähnlichkeit

Zum Berufsbild des Meteorologen und Wetterberaters

Meteorologen als Lehrer beim GeophysBDBw

Der Geophysikalische Beratungsdienst der Bundeswehr (GeophysBDBw) ist ein in die Bundeswehr eingegliedert (wissenschaftlicher) Spezialdienst bei Heer, Luftwaffe, Marine und im wehrtechnischen Bereich. Beim Aufbau der Bundeswehr wurde wegen der Wichtigkeit der Wettervorhersage für viele Unternehmungen der drei Teilstreitkräfte ein „Wetterberatungsdienst der Bundeswehr“ eingerichtet. Mit der Übernahme von anderen, meist geophysikalischen Aufgaben gab man dem Dienst seinen heutigen Namen.

Die in diesem Dienst tätigen Wissenschaftler wie Meteorologen, Geophysiker, Geologen und Ozeanographen werden wegen der vielfältigen, im weitesten Sinne jedoch meist geophysikalischen Aufgaben amtlich *Geophysiker* genannt. Entsprechend heißen die Wetterberater *Geophysikerberater G*, wobei das G die Einstufung in die Laufbahn des gehobenen Dienstes kennzeichnen soll.

Aufgabe des GeophysBDBw ist es, Führung, Teilstreitkräfte, Technik und Bundeswehrverwaltung in allen geophysikalischen Fragen zu beraten und zu unterstützen, damit Vorhaben aller Art sinnvoll geplant und mit Erfolg sowie Sicherheit für Mensch und Material durchgeführt werden können. Beratung und Unterstützung orientieren sich überwiegend an Wirkungen einzelner geophysikalischer Parameter auf das spezielle Vorhaben. Es ist deshalb die Hauptaufgabe, räumlich und zeitlich — mehr oder weniger eng begrenzt — möglichst exakte und genaue Vorhersagen der entsprechenden Einflußfaktoren und ihre Auswirkungen auf das Unternehmen oder Projekt zu erstellen.

Ausbildung facheigenen Personals

Die Ausbildung der mit den vielfältigen Aufgaben des Geophysikalischen Beratungsdienstes betrauten Geophysiker und Geophysikerberater muß besonders fachspezifisch ausgerichtet sein. Um zu gewährleisten, daß das facheigene Personal diese umfangreichen, den sich ständig wandelnden Bedürfnissen und Ansprüchen der militärischen Bedarfsträger anzupassende Ausbildung erhält, wurde eine

eigene Ausbildungsstätte, die *Schule für Wehrgeophysik*, geschaffen.

Die Referendare erhalten während ihrer Zeit bei der Bundeswehr einen Überblick über die mannigfachen Aufgaben. Wegen der kurzen Einweisungszeit können ihnen nur Teile der später benötigten Kenntnisse vermittelt werden. Die genauere Einarbeitung in die konkreten Aufgaben am Arbeitsplatz muß deshalb noch in der ersten Zeit nach der Großen Staatsprüfung erfolgen.

Etwas anders ist die Ausbildung des Geophysikerberaters aufgebaut. Im wesentlichen durchläuft er die Laufbahnausbildung gemeinsam mit den zukünftigen Wetterberatern für den DWD. Die letzten Monate vor der Laufbahnprüfung und ein weiterer Lehrgang einige Zeit danach sind speziell auf seine Aufgaben im GeophysBDBw zugeschnitten.

Die *Fortbildung* des geophysikalischen Fachpersonals tritt immer mehr in den Vordergrund. Die Naturwissenschaften im allgemeinen und die geophysikalischen Spezialbereiche im besonderen entwickeln sich geradezu explosionsartig. Der einzelne Meteorologe oder Berater kann sich diese Fortschritte auf seinem Spezialgebiet aus zeitlichen und informationstechnischen Gründen nicht mehr neben seiner beruflichen Tätigkeit aneignen, insbesondere ~~der GeophysBDBw statt~~

der wenn ihn diese Tätigkeit auf Fliegerhorste führt, die von Bildungszentren weiter entfernt liegen. Deshalb ist es notwendig, diese Wissenserweiterung den Mitarbeitern bei Fortbildungslehrgängen zu vermitteln, damit sie dieses neue Wissen zu einer Verbesserung bei der Lösung der aktuellen Aufgaben nutzen können.

Ausbildung des militärischen Personals

Die *Unterrichtung* des militärischen Personals ist wegen des großen Einflusses von Umweltfaktoren bei den Einsätzen ein ständiger Bestandteil bei allen Unterweisungen. Dieser geophysikalische Unterricht findet im Rahmen der lehrgangmäßigen Ausbildung von Soldaten an besonderen *Fachschulen der Bundeswehr* durch Angehörige des GeophysBDBw statt.

Auch bei den Verbänden werden in regelmäßigen Abständen Fortbildungs- oder Vertiefungsvorträge durchgeführt, die Geophysik und ihren Einfluß auf den militärischen Einsatz zum Thema haben.

Die überaus starke Fluktuation bei den Soldaten zwingt zu einer weit höheren (schnelleren) Lehrgangsfolge als im zivilen Bereich.

Schule für Wehrgeophysik

Die *Schule für Wehrgeophysik* in Fürstentfeldbruck führt im Rahmen der vom DWD gesteuerten Laufbahnausbildung im mittleren, gehobenen und höheren Dienst einen großen Teil dieser Ausbildung durch. Dabei finden gemeinsame Unterweisungen für das zukünftige Fachpersonal des DWD und des GeophysBDBw statt. Eigens auf die besonderen Aufgaben im GeophysBDBw ausgerichteter Unterricht bereitet die Laufbahnanwärter, die sich für den Geophysikalischen Beratungsdienst entschieden haben, gesondert auf ihre späteren Tätigkeiten vor. Daneben hat die Schule für Wehrgeophysik die Aufgabe, Fortbildungskurse für das gesamte Fachpersonal des GeophysBDBw abzuhalten. Außerdem erhalten Reserve-Offiziere, im Beruf hauptsächlich Physiker und Mathematiker, im Rahmen von Reserveübungen eine Einweisung in einzelne Aufgabebereiche des Beratungsdienstes.

Entsprechend dem Umfang des zu vermittelnden Stoffes und der Fülle der Lehrgänge ist eine stattliche Anzahl von Lehrkräften an der Schule tätig. 9 Geophysiker, 6 Geophysikerberater und 3 Fachlehrer für das Fernmeldewesen sorgen auf den Gebieten

- (Geophysikalische) Vorhersage und Beratung
- Radarbild-Interpretation
- Wetterbeobachtung
- Instrumentenkunde
- Fernmeldebetrieb
- ABC-Melde- und Warndienst und
- Dienstbetrieb

dafür, daß das Fachpersonal die vielfältigen Aufgaben, die an den Geophysikalischen Beratungsdienst gestellt werden, erfolgreich bewältigen können. 2 Lehrer für Fachenglisch übernehmen die Schulung der Lehrgangsteilnehmer in der „Nato-Sprache“.

Die *(Geophysikalische) Vorhersage und Beratung* nimmt naturgemäß den breitesten Raum im gesamten Ausbildungsstoff ein. Unter Vorhersage und Beratung im allgemeinsten Sinn soll jede Information über den augenblick-

lichen und zukünftigen Einfluß geophysikalischer Faktoren auf bestimmte Operationen oder Objekte gelten.

Im Rahmen dieses Informationsberichtes sollen nur

- Flugwetterberatung und
- Spezialberatung bei Heer und Marine

erläutert werden, um zu zeigen, wie schwierig, aber auch interessant die Tätigkeit und damit der Unterricht auf diesen Gebieten ist.

Die *Flugwetterberatung* ist nicht nur die häufigste, sondern wichtigste und schwierigste Beratung. Damit der Geophysiker oder Geophysikerberater in der Lage ist, einen Flugzeugführer über die zu erwartenden Wetterbedingungen während des Fluges zu beraten, muß er umfassende Kenntnisse u. a. in

- Synoptischer Meteorologie
- Wettervorhersage
- Orographie und
- Klimatologie

besitzen. Diese zu vermitteln, ist Aufgabe des Lehrers.

Am Anfang steht das Aneignen des „Basiswissens“. Hierunter zählen Kenntnisse in Physikalischer und Synoptischer Meteorologie, Thermodynamik, Mathematik, Physik und die für die ordentliche Durchführung der Beratung notwendigen Vorschriften und Richtlinien. Dies geschieht im Rahmen eines „*Kathederunterrichtes*“, da es um das Lehren von bekannten Fakten geht.

Die Schwierigkeiten für den Lehrer beginnen dann, wenn es darum geht, die physikalischen Vorgänge in der Atmosphäre dem Lernenden verständlich darzulegen. Hier erfolgt das Lehren anfangs an ausgewählten, aufbereiteten Wetterlagen („*Konserven-Wetterlagen*“). Dies löst nach einer gewissen Zeit der *Unterricht „am lebenden Objekt“*, d. h. an der aktuellen Wettersituation ab. Dieser Unterricht verlangt neben sehr fundiertem Fachwissen ein vielleicht noch größeres pädagogisches Können, wenn es darum geht, dem Lernenden das Wissen zu vermitteln, was man an „Wetter“ vorhersagen kann und was nicht. Dabei geht es um die Beantwortung von Fragen wie:

- Warum muß es Fehlvorhersagen geben?
- Wo liegen die Grenzen der Vorhersagbarkeit?

oder dann detaillierter:

- Gibt es heute Nacht Nebel?
- Wenn ja, wann?

- Fällt der Niederschlag heute als Regen oder als Schnee?

Diese Fragen müssen sofort während der Diskussion der aktuellen Wetterlage beantwortet werden. Der Lehrer muß zuerst in der Lage sein, in Abhängigkeit von der jeweiligen Situation, Schritt für Schritt alle Gedankengänge bis zur endgültigen Formulierung der Analyse logisch darzulegen, damit der „Anfänger“ lernt und auch ein Gefühl dafür bekommt, welche Aussage enthalten die synoptischen Daten, die stichpunktartig Informationen über den augenblicklichen komplexen Zustand der Atmosphäre liefern. Dieser Zustand der Atmosphäre wird durch eine ganz bestimmte „Wettersituation“ repräsentiert. Die diese Situation hervorruhenden komplexen physikalischen Vorgänge und ihre Wechselwirkungen sind teils gut bekannt, manche jedoch, besonders die Wechselwirkungen, kaum oder überhaupt nicht. Den Zuhörern hier *Wissen zu vermitteln und gleichzeitig, ohne sie zu verunsichern, die Grenzen des physikalisch Möglichen aufzuzeigen*, ist außerordentlich schwierig.

Die Problematik der Vorhersage bestimmter Wetterfaktoren ist dem Leser bekannt. Er weiß, wenn er mit dem Auto, der Bahn oder dem Flugzeug unterwegs ist, wie rasch und wie häufig sich Sicht, Wolken, Wind und Niederschlag ändern können. Diese Vielfalt der Wettererscheinungen und die scheinbare Unmöglichkeit, eine nach Ort und Zeit genau geforderte Vorhersage zu erstellen, überfordert den „Anfänger“, der zusätzlich zu den wetterbedingten Schwierigkeiten noch die Wetterabhängigkeit der einzelnen Flugzeugtypen bei seiner Prognose berücksichtigen muß.

Als Beispiel sei folgende Beratung zu erstellen, die jeder Leser, dem synoptisch-meteorologisches Material zur Verfügung steht, nachvollziehen kann. Ein Hubschrauberpilot kommt morgens um 6 Uhr zur Beratungsstelle mit folgendem Flugauftrag:

Er soll um 8 Uhr von Oberschleißheim startend den Kommandeur einer Einheit im Bayerischen Wald abholen und zu einer Besprechung nach Garmisch bringen. Anschließend fliegt er zum Nachtanken nach Murnau und von dort am Nachmittag zu einer Bergrettungsübung im Esthergebirge nördlich von Garmisch. Voraussichtlich wird er 2 Stunden nach Sonnenuntergang wieder in Oberschleißheim landen.

Zur Durchführung dieses Flugauftrages benötigt er folgende Wetter(mindest-)bedingungen:

- *Auf der gesamten Flugstrecke 1,5 km Sicht und 500 Fuß Wolkenuntergrenze (mit Tiefflugauftrag 300 Fuß).*

- *Für die Nachtlandung 5 km Sicht.*

- *Maximale Windgeschwindigkeit höchstens 45 Knoten.*

- *Unterschied zwischen maximaler und mittlerer Windgeschwindigkeit nicht mehr als 15 Knoten.*

Bei der Prognose dieses so unterschiedlichen (Ebene, Berg, Tag, Dämmerung, Nacht) Wetters helfen keine noch so guten numerischen Vorhersagen. Sie geben zwar die Wetterentwicklung — besser Strömungsentwicklung — in einem groben Maßstab einigermaßen brauchbar an. Das von Kilometer zu Kilometer und von Minute zu Minute wechselnde Benehmen der rasch veränderlichen Wetterfaktoren ist jedoch nur durch die Kenntnisse der Orographie und des Bodens und ihrer Wechselbeziehung zur Atmosphäre zu beherrschen.

Diese, der Praxis entnommene *Beratungsanforderung wird im Lehrgang schulmäßig durchgearbeitet (und nicht durch, gespielt)* und zwar mit dem am *Unterrichtstag herrschenden Wetter.*

Die Geophysikerberater, die ohne meteorologische Vorkenntnisse ihren Beruf beginnen, erhalten in einer dreijährigen Ausbildung das Rüstzeug für ihre spätere Tätigkeit. Die Referendare kommen dagegen mit sehr unterschiedlichem Wissen und Können in Synoptik in die Ausbildung. Durch die andersartige Zielsetzung an den Universitäten in Deutschland nimmt das synoptische Verständnis der Studenten von Jahr zu Jahr ab. So ist es die Aufgabe der Geophysiklehrer, die Referendare anzuregen und ihnen behilflich zu sein, das vorhandene theoretische Wissen bei der aktuellen synoptischen Lage in eine Aussage über das Wetter und damit über die Größe einzelner Parameter und dann in die Vorhersage umzusetzen, und das unter Berücksichtigung der Anforderung des militärischen Auftraggebers.

Bei *Spezialberatungen* für Heer und Marine genügen allein die Kenntnisse der synoptischen Meteorologie und der Wechselwirkungen zwischen Orographie und Wetter nicht mehr.

Um einen Heeresverband für den Einsatz im Gelände richtig beraten zu können, muß der Geophysiker oder Geophysikerberater zusätzlich erfahren haben, welche Faktoren bei solchen Beratungen eine Rolle spielen. Dazu gehören z. B.

- Belastbarkeit des Bodens
- Bodenbeschaffenheit
- Wasserführung der Flüsse und
- Frosttiefen in Böden.

Dies sind mehr geologische und hydrologische Faktoren, die der Meteorologe, der als Geophysiker eingesetzt ist, genau so kennen muß, wie umgekehrt der bei der Bundeswehr eingesetzte Geologe die meteorologischen Faktoren berücksichtigen muß.

Bei Beratungen in der Marine sind hauptsächlich Kenntnisse über

- Salzgehalt des Meerwassers
- Wellenentstehung und -ausbreitung
- Gezeiten
- Schallausbreitung im Wasser

neben anderen rein ozeanographischen Begriffen notwendig.

Für Einsätze bei allen drei Teilstreitkräften muß der Berater auch über gute synoptisch-klimatologische Kenntnisse verfügen, da es sich bei den Planungen und Vorbereitungen solcher Einsätze oft um eine Wochen-, manchmal auch um eine Monatsvorhersage handeln kann.

Als weiteres Schulbeispiel aus dem Heeresbereich folgender Auftrag:

Am Dienstagmorgen möchte der Chef einer Kompanie Informationen, ob es am kommenden Montag wettermäßig möglich sein wird, eine dreitägige Übung im Gelände um Bad Tölz durchzuführen. Voraussetzung sei einmal, daß der Boden Panzer tragen kann, zum anderen die Straßen dabei nicht so verschmutzt werden, daß sie eine Gefahr für den zivilen Verkehr bedeuten, weiter daß die Nachttemperatur nicht unter -10° absinkt, und daß letztlich die Isar zwischen Geretsried und Bad Tölz überquert werden kann, was bei Hochwasser nicht möglich ist.

Diese Beratung verlangt neben einer meteorologischen Langzeitberatung noch geologische und hydrologische Aussagen.

Auch spezifische Beratungen aus dem Bereich der Marine werden an der Schule lehrgangsmäßig erarbeitet. Hierzu folgendes Beispiel:

Der Geophysiker wird montags gefragt, ob ein am Freitag geplantes Flottenmanöver östlich von Bornholm stattfinden kann. Dabei sollen möglichst keine Wellen über 2 m auftreten und die Sicht mehr als 10 Seemeilen betragen. Außerdem möchte man die Wassertemperaturen für die Durchführung von Seenotrettungsübungen wissen, und am Sonntag soll

die Windgeschwindigkeit unter 15 Knoten bleiben, da man die Übernahme von Treibstoff und Verpflegung plant.

Hier werden Wetter- und ozeanographische Vorhersagen über 5—7 Tage verlangt.

Der Unterricht über diese vielfältigen Aufgaben der Beratung und das Lehren des dafür notwendigen Wissens an Hand aktueller Wettersituationen erfordert von den Lehrkräften umfassende Kenntnisse aller Teilgebiete der Meteorologie und angewandten Geophysik. Obwohl nicht jeder Lehrer die so divergierenden Gebiete gleich gut beherrschen kann und deshalb Schwerpunktfächer gebildet wurden, muß er doch über alle Teilgebiete so gut unterrichtet sein, daß er im Unterricht bei entsprechenden Fragen zumindest eine vorläufige Antwort geben kann und nur selten gezwungen ist, zur weiteren Klärung auf den „Spezialisten“ zu verweisen.

Die Radarbild-Interpretation ist ein wichtiges Hilfsmittel bei der Flugwetterberatung und der Vorhersage des Flugplatzwetters. Den Geophysikberatern werden in Speziallehrgängen nicht nur Kenntnisse über die Auswertung der Radarechos, sondern auch über den technischen Aufbau des Radargerätes und die physikalischen Grundsätze der Ausbreitung von Radarimpulsen in der Atmosphäre vermittelt. Bei den Lehrgängen für Geophysiker stehen die physikalischen Probleme und ihre Behandlung im Vordergrund. Hierzu gehören weitere über das Meteorologische hinaus gehende Kenntnisse des Lehrers.

Der ABC-Melde- und Warndienst wird bei Luftwaffe und Marine vom Geophysikalischen Beratungsdienst durchgeführt. Während der Geophysiker und Berater in Speziallehrgängen von dem akademischen Lehrer vor allem die physikalischen Zusammenhänge und Wirkungen von atomaren, biologischen und chemischen Waffen erfährt, werden die Techniker durch die anderen Lehrer mit den Verfahren vertraut gemacht, die die Grundlage für Warnungen an die militärische Führung und zum Teil an zivile Stellen bilden.

Der Dienstbetrieb einer Beratungsstelle oder einer anderen Stelle innerhalb der Organisation des Geophysikalischen Beratungsdienstes ist etwas völlig Fachfremdes. Der Geophysiker, der z. B. die Leitung einer Beratungsstelle übernimmt, hat neben den wissenschaftlichen auch Aufgaben aus Verwaltung und Recht zu erfüllen. Er soll zwar kein „Verwaltungsbeamter“

werden, muß jedoch mit den juristischen und verwaltungsmäßigen Begriffen und Problemen vertraut gemacht werden. Dazu dient ein besonderer Lehrgang, bei dem diese Kenntnisse vermittelt werden.

Geophysiker, die in diesen Lehrgängen als Lehrer eingesetzt werden, müssen „Spezialisten“ sein. Sie müssen

- die betrieblichen Anforderungen, die z. B. an den Leiter einer Beratungsstelle gestellt werden, kennen
- die Vorschriften, die für die Durchführung des Dienstbetriebes von Bedeutung sind, beherrschen und
- das juristische Vokabular beherrschen.

In *Fortbildungslehrgängen* sollen die Geophysiker und Berater in gewissen Zeitabständen mit den neuesten Beratungsverfahren vertraut gemacht werden. Dazu gehört auch eine Diskussion über die Erarbeitung eines Gedankenmodells des augenblicklichen Zustandes der Atmosphäre. In der Praxis entwickelt jeder Geophysiker oder Berater im Laufe seiner Tätigkeit ein eigenes Schema, wie er dieses Modell entwickelt. Dieses zu überprüfen und eventuell neue Denkanstöße zu vermitteln, ist ebenfalls Ziel dieser Fortbildungslehrgänge.

Bei den Lehrgängen für Geophysiker, die in der Beratungspraxis an Zentren eingesetzt sind, wird Wert auf das Erarbeiten der „mesoscalen“ Vorgänge und ihre Vorhersage gelegt, während in den Lehrgängen für die Berater, die in der Truppe den militärischen Bedarfsträgern detaillierte Auskünfte über einzelne Wetterelemente liefern müssen, mehr die „microscalen“ Prozesse im Vordergrund stehen.

Schulen der Bundeswehr

Der Lehrer an Schulen der Bundeswehr unterrichtet kein ziviles, sondern nur militärisches Personal. Der geophysikalische Unterricht ist hier eingegliedert in die Ausbildung von Soldaten auf einem Spezialgebiet. Je technisierter und komplizierter Geräte und Waffensysteme werden, die zudem außerhalb von Gebäuden verwendet werden, um so anfälliger sind sie gegenüber Änderungen geophysikalischer Faktoren. Diesem Umstand wird Rechnung getragen durch eine speziell auf das Ausbildungsziel hin ausgerichtete Unterweisung in geophysikalischen Fragen. So gibt es Geophysiklehrer zum Beispiel an der

- ABC-Schule
- Pionierschule
- Flugzeugführerschule

Artillerieschule Ortungsschule.

Der Lehrer muß es verstehen, die für ihn selbstverständliche wissenschaftliche Terminologie in eine allgemein verständliche Sprache zu übertragen. Außerdem muß er seinen Unterricht rasch neuen waffentechnischen Gegebenheiten anpassen können. Als Beispiele von Schulen seien hier nur 3 angeführt.

Bei der Ausbildung der *Flugzeugführer* werden diese über die Flugwettervorhersage unterrichtet. Sie lernen die Probleme und Grenzen der Vorhersage und die Gefahren des Wetters und ihre Auswirkungen auf Flugzeug und Besatzung. Der Flugzeugführer muß lernen, selbständig Rückschlüsse aus örtlichen Wetterbedingungen zu ziehen, um gegebenenfalls eine notwendige Entscheidung während des Fluges richtig treffen zu können.

Der *ABC-Warndienst* wird beim Heer von militärischem Personal wahrgenommen. Diese werden in Sonthofen/Allgäu ausgebildet und erhalten dort von einem Geophysiker einen Einblick in alle geophysikalischen Faktoren, die im Zusammenhang mit atomaren, biologischen und chemischen Waffen eine Rolle spielen.

An der *Ortungsschule* in Bremerhaven stehen natürlich ozeanographische Probleme im Vordergrund. Hier wird man keinen Meteorologen oder Geologen gebrauchen können. Selbst der Ozeanograph, der auf diesem Spezialgebiet zu Hause ist, wird sich jedoch erst mit den geforderten Themen und Zielsetzungen ausführlich beschäftigen müssen, da hier wie überall im Geophysikalischen Beratungsdienst die praktische Anwendung der theoretisch erworbenen Kenntnisse im Vordergrund steht.

Der Lehrer

Die Voraussetzungen, die ein Referendar oder ein Berater mitbringen sollte, wenn er später als Lehrer tätig sein will, sollen zum Schluß skizziert werden. Zuerst einmal muß er sich frei machen von dem Gedanken, daß ein Lehrer viel Freizeit hat. Der Lehrer hat seine 40-Stunden-Woche und übt dabei „nur“ hauptamtlich eine Lehrtätigkeit aus. Die Oster-, Pfingst-, Sommer-, Herbst- und Weihnachtsferien gelten nur für seine schulpflichtigen Kinder.

Ist er sich darüber klar geworden, dann sollte er sich fragen, ob er für diesen Beruf *pädagogisches Geschick* mitbringt. Dieses sollte vorhanden

sein, da eine besondere Ausbildung dafür z. Z. nicht vorgesehen ist. Manche Leute sind zwar der Meinung, daß man durch Können allein auch überzeugen kann, aber nur solange, bis am Ende des Lehrganges in der Lehrgangskritik steht: Wissen ausgezeichnet, Lehrerfolg mangelhaft!

Wie sehen die fachlichen Voraussetzungen aus? In den vorigen Abschnitten klang sehr häufig an, daß die Praxis eine große Rolle spielt, d. h. der Lehrer muß die praktische Arbeit des Geophysikers kennen. Dies ist nur möglich, wenn vor der Lehrtätigkeit *langjährige Erfahrungen* im direkten Kontakt mit den *militärischen Aufträgen* gesammelt werden. Manchem behagt diese praxisbezogene Arbeit nicht. Entweder ist man der Meinung, das sei nicht wissenschaftlich genug, oder die Neigungen liegen auf anderen Gebieten; aber der Lehrer *muß* diese wissenschaftliche Praxis kennen, können und ihre Anwendung lehren.

Der Lehrer muß es verstehen, die in der wissenschaftlichen Literatur angebotenen (mehr oder weniger theoretisch aufbereiteten) Themen umzusetzen in einen dem Schüler sprachlich als auch inhaltlich verständlichen Unterricht. Dazu gehört ein Erstellen von Lernhilfen in Form von schriftlichen Zusammenfassungen oder optisch einprägsamen Darstellungen. Hier sollte der interessierte Anwärter aber gleich den Gedanken wieder fallen lassen, so etwas wird doch heute in allen möglichen Variationen von vielen Verlagen angeboten. *Die Meteorologie mit ihren Randgebieten ist im Zuge der allgemeinen Fortbildungskampagne absolutes Neuland.* Es gibt weder Lehrbücher für alle Schwierigkeitsgrade, wie man das von der Schule gewohnt ist, noch wird in irgendeiner Weise an Lehrprogrammen gearbeitet. Der Geophysiklehrer ist also gezwungen, seinen Unterricht, soweit es sich

nicht um reinen Kathederunterricht handelt, z. B. die Herleitung der barometrischen Höhenformel, von Grund auf selbst zu gestalten. Dazu gehört nicht nur, daß der Unterricht mit allen Hilfen didaktisch gut aufgebaut ist, sondern daß auch neue Erkenntnisse ohne Schwierigkeiten in das Konzept eingefügt werden können.

Neue Erkenntnisse vermitteln heißt aber, sie sich erst einmal anzueignen. Dazu gehört Zeit, und da es sich heute *fast ausschließlich um fremdsprachliche Literatur* handelt, spielt der Zeitfaktor hierbei schon eine beträchtliche Rolle.

Ist der Kandidat davon überzeugt, daß ihn das alles nicht schreckt und er das tiefe Verlangen verspürt, unbedingt eine Lehrtätigkeit ausüben zu wollen, dann sollte er noch einen Punkt überdenken. Der Lehrer im Geophysikalischen Beratungsdienst ist in erster Linie Beamter. Das heißt, wenn er seinen Unterricht beendet hat, steht er zur Erledigung anderer Arbeiten zur Verfügung, die nicht selten mit seiner Lehrtätigkeit in einem äußerst schwachen Zusammenhang stehen.

Bestehen keine Bedenken, eine Lehrtätigkeit ausüben zu wollen, dann soll sich der Kandidat ruhig darum bemühen. Das Vorbereiten des Unterrichtes, die Konfrontation mit willigen und auch anderen Schülern, das Erstellen und Korrigieren von Tests und Übungen, der Entwurf von Zeichnungen, Darstellungen, schriftlichen Zusammenfassungen, das Erledigen mehrerer anderer aus den verschiedensten Themenkreisen stammenden Aufgaben, das Lesen und Verarbeiten neuerer Literatur werden nie ein Gefühl von Langeweile aufkommen lassen. Die — allerdings oft erst nach Jahren erfolgende — Anerkennung seiner Leistung durch die Schüler entschädigt für die tagtägliche Mühe und Arbeit!

D. WALCH, Fürstenfeldbruck

Neue Instrumente und Methoden

Die menschliche Nase

Es klingt wie ein Witz, aber es ist durchaus wissenschaftlicher Ernst. Augen und Ohren zur Wahrnehmung meteorologischer Fakten zu benutzen, ist so selbstverständlich, daß darüber niemandem etwas einfällt. Die physiologischen Fehler dieser beiden Sinnesorgane bei der Beobachtung wurden gründlich untersucht und sind weitgehend bekannt. Warum soll man

nicht auch die Nase dort einsetzen, wo sie ihre Leistungsfähigkeit beweisen kann, bei *Ausbreitungsvorgängen in der bodennahen Luftschicht*. Statt die Luft radioaktiv zu markieren und mit einem Geigerzähler die Ausbreitung von einer „Emmissionsstelle“ aus zu verfolgen, was naheliegt, sich aber wegen der Gefährdung von selbst verbietet, kann man Geruchsstoffe dazu

benutzen und die Ausbreitung mit der Nase messen. Oder aber, und das ist die derzeitige Praxis, man kann die „Fahne“ einer bekannten Emmissionsstelle ermitteln. Man kann ebenso umgekehrt aus der festgestellten „Fahne“ einen unbekanntem Emittentur ermitteln. Man wird dem Geruch nachgehen. Die modernen Fragen des Umweltschutzes und der Umweltverschmutzung sind damit angegangen und befriedigend gelöst worden, ohne daß es nötig war, komplizierte Ausbreitungsrechnungen anzustellen. Interessent und Nutznießer dieser Methode ist vor allem die chemische Großindustrie.

Am Beispiel der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik (BASF), Werk Ludwigshafen schildert Dr. Manfred HABERLE in „Umwelt 6/1973“ Arbeitsweise und Erfahrungen mit dieser neuen Methode. Nachstehend einige Gesichtspunkte zur Beurteilung des „Instruments“ Nase und der Methode.

„Für das Erfassen von Gerüchen haben sich einige Regeln herausgebildet, von welchen die wichtigsten hier kurz erwähnt seien:

1. Mit nur wenigen Ausnahmen sind alle toxischen oder gefährdenden Stoffe (Gase und Dämpfe) durch Geruch wahrnehmbar. Die wichtigste Ausnahme ist das Kohlenmonoxyd (CO).
2. Ein trainierter Geruchsspürer kann bis zu fünf Geruchsintensitätsstufen, der ungeübte dagegen nur drei unterscheiden. Eine Verdoppelung der Wahrnehmung der Geruchsintensität hat eine Verzehnfachung der Konzentration der Geruchsstoffe als Ursache.

3. Das Riechempfinden ist von Stoff zu Stoff und von Mensch zu Mensch verschieden. Bei Kampher kann die Geruchswahrgrenze im Verhältnis von 1:10 000 von Person zu Person verschieden sein, bei Ammoniak dagegen nur im Verhältnis 1:100.

4. Eine Geruchsgewöhnung oder Geruchsadaptation, die im Verlaufe von einigen Minuten eintritt, ist zu berücksichtigen. Personen, die 12 bis 15 Minuten einer Schwefelwasserstoffkonzentration (faule Eier) von 1 bis 9 mg/m³ ausgesetzt waren, hatten erst nach 3 bis 4 Minuten in geruchsfreier Umgebung wieder volle Geruchsempfindung. Die Geruchsschwelengrenze von Schwefelwasserstoff sei hier vermerkt: Sie liegt bei 0.0007 mg/m³ Luft unter Laborbedingungen und bei 0.03 mg/m³ Luft im Freien. Zum Vergleich seien der MİK_D-Wert mit 0.14 mg/m³ und der MAK-Wert mit 15 mg/m³ genannt. Dabei bedeuten (MİK_D = Dauerwert der maximalen Immissionskonzentration (Bodenkonzentration) für die Allgemeinbevölkerung während eines Jahres, MAK = Maximale Arbeitsplatzkonzentration eines bestimmten Stoffes für 8 Stunden pro Tag und 45 Stunden pro Woche).

5. Die im Labor ermittelten Geruchsschwellenwerte werden im Freien rund zehnfach höher gefunden. Der Geruchsschwellenwert wird üblicherweise mit 10 Versuchspersonen ermittelt; 50% dieser Personen müssen den betreffenden Geruch bei der „Schwellenkonzentration“ feststellen. Verglichen wird hierbei mit geruchsfreier Luft.

6. Zur Geruchsidentifikation oder Geruchserkennung sind höhere Konzentrationen nötig als dem Geruchsschwellenwert entspricht.

Eine Bewertung und Klassifizierung verschiedenartiger Gerüche nach absolutem Maßstab ist bis heute noch nicht möglich. Eine Untersuchung hat ergeben, daß eine Bevorzugung oder Ablehnung von Gerüchen von Alter, Geschlecht und Menschentyp abhängig ist. Nicht jedermann eignet sich dazu, Gerüche systematisch zu erfassen, zu charakterisieren und nach ihrer Intensität einzustufen. Ein Geruchsspürer muß intensiv, d. h. bewußt riechen (schnüffeln); er muß verschiedene Gerüche unterscheiden können, ähnlich einem „Parfümeur“, wenn auch nicht so ausgeprägt; er muß Gerüche am Boden mit denen an der Quelle vergleichen können und über ein gutes Geruchsgedächtnis verfügen; er sollte als Chemiker oder Laborant ausgebildet sein, und er sollte jung sein, da das Geruchsempfinden mit dem Alter abnimmt.“

Die BASF stellt mit ihren Geruchsspürern die Verteilung der Gerüche kartographisch als sogenannte Geruchskataster zusammen zu dem Zweck, durch betriebliche Maßnahmen ihre Umwelt zu verbessern.

A. HOFMANN, Bad Homburg

Aus der Weltorganisation für Meteorologie (WMO)

Die Weltorganisation für Meteorologie

(Gekürzter Abdruck aus: *Handbuch der Entwicklungshilfe*, 112. Lieferung, September 1974, mit freundlicher Genehmigung der Nomos Verlagsgesellschaft Baden-Baden)

Entstehung, Aufbau, Aufgaben

Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ist die direkte Nachfolgerin der 1873 auf einer Konferenz in Wien gegründeten Internationalen Meteorologischen Organisation (IMO); sie ist damit eine der ältesten unter den heutigen Sonderorganisationen der Vereinten Nationen.

Vorgeschichte

Ab Mitte des vorigen Jahrhunderts erfolgte die Gründung staatlicher Meteorologischer Dienste mit dem Ziel wissenschaftlicher Forschung und deren praktischer Nutzbarmachung für Landwirtschaft, Verkehr und Gewerbe.

Bereits 1853 fand in Brüssel eine Konferenz von 10 seefahrenden Nationen statt, um einheitliche Wetterbeobachtungen auf See und deren Austausch zu vereinbaren; erhöhte Sicherheit der Seeschifffahrt und beträchtliche Ersparnisse durch Verkürzung der Segelzeiten waren die langfristigen Ergebnisse.

Von der IMO zur WMO

1873 kam es dann in Wien zur Gründung der Internationalen Meteorologischen Organisation (IMO), die in den folgenden sieben Jahrzehnten die meteorologische Tätigkeit in der Welt und deren mannigfache praktische Anwendungen wirksam koordiniert und gefördert hat (1).

Von der IMO zur WMO

Grundlage der IMO war die freiwillige Zusammenarbeit der Direktoren staatlicher meteorologischer Dienste und Observatorien, ohne daß diese bevollmächtigte Repräsentanten ihrer Regierungen waren. So sehr sich dieses Prinzip auch durch Jahrzehnte bewährt hat, so machte doch die Entwicklung nach dem Zweiten Weltkrieg die Umwandlung in eine zwischenstaatliche Organisation und den Anschluß an die Vereinten Nationen er-

forderlich. Am 23. März 1950 trat das „Übereinkommen über die Weltorganisation für Meteorologie“ in Kraft, ein Datum, das jährlich als „Weltjahrestag der Meteorologie“ begangen wird. Am 15. März 1951 löste sich die IMO auf und übertrug Aufgaben, Vermögen und Verpflichtungen auf die neue Weltorganisation (WMO).

Am 20. Dezember 1951 wurde die WMO Sonderorganisation der Vereinten Nationen. Die Bundesrepublik Deutschland trat ihr am 10. Juli 1954 als Mitglied bei.

Aufbau der WMO

Die Organisation besteht aus:

1. dem Meteorologischen Weltkongreß, der „Generalversammlung“, die alle vier Jahre zusammentritt,
2. dem Exekutivauschuß, dem ausführenden Organ, welches einmal jährlich tagt (Artikel 13),
3. sechs Regionalverbänden,
4. acht Fachkommissionen, und
5. dem Sekretariat in Genf unter Leitung des Generalsekretärs.

Es fördert die fachliche Zusammenarbeit in der WMO, daß gemäß Artikel 6 als Amtsträger (Präsident oder Vizepräsidenten der Organisation oder eines Regionalverbandes) oder als Mitglieder des Exekutivauschusses nur Direktoren von meteorologischen Diensten der Mitglieder wählbar sind, und daß diese als Vertreter der Organisation und nicht als Repräsentanten ihres Landes handeln sollen.

Aufgaben der Organisation

Die Aufgaben der WMO sind in Artikel 2 umrissen. Man wird bemerken, daß die Technische Zusammenarbeit (T. Z.) — wie bei mehreren anderen Sonderorganisationen — nicht besonders aufgeführt ist; dieses Arbeitsgebiet hat sich erst nach Schaffung der WMO entwickelt.

Inzwischen haben sich vier große ständige Programme herausgebildet, die vom Sechsten Weltkongreß (1967) gebilligt worden sind:

— Welt-Wetter-Wacht (W W W)

Dieses weltweite System, welches Beobachtungsnetze, Datenverarbeitung und -übermittlung umfaßt, hat die Versorgung aller Länder mit den meteorologischen Informationen zum Ziel, die sie für ihre praktischen Zwecke sowie für die Forschung benötigen. Dabei kommen sowohl konventionelle Methoden wie auch modernste tech-

nische Hilfsmittel, wie Wettersatelliten, elektronische Datenverarbeitung und Hochleistungs-Fernmeldeeinrichtungen zur Anwendung (2).

— WMO-Forschungsprogramm

Kernstück ist das von der WMO und dem Internationalen Rat der naturwissenschaftlichen Vereinigungen (ICSU) gemeinsam organisierte „Globale Programm zur Erforschung der Atmosphäre“ (GARP) mit dem Ziel, zu einem besseren Verständnis der komplexen atmosphärischen Vorgänge und der physikalischen Grundlagen des Klimas zu gelangen.

— WMO-Programm der Wechselbeziehungen zwischen dem Menschen und seiner Umwelt

Dieses Programm umfaßt die Anwendungen der Meteorologie auf die Tätigkeit des Menschen, andererseits die Rückwirkungen dieser Tätigkeit auf Atmosphäre und Wasservorräte. Hierunter fällt einerseits die Nutzung unserer Kenntnisse von den atmosphärischen Vorgängen für Landwirtschaft, Nahrungsmittelproduktion, Verkehrswesen, die optimale Verwendung der Wasservorräte sowie die Bemühungen, die zerstörenden Wirkungen tropischer Wirbelstürme und andere wetterbedingte Schäden zu mindern, andererseits der Umweltschutz in bezug auf Luft und Wasser sowie Untersuchungen darüber, wie weit die menschliche Tätigkeit günstige oder ungünstige Einflüsse auf das Klima der Erde ausüben kann.

— WMO-Programm der Technischen Zusammenarbeit (T. Z.)

Während die drei vorstehenden Programme als moderne Weiterentwicklung konventioneller Aufgaben angesehen werden können, stellt die Unterstützung von Entwicklungsländern ein neues Arbeitsgebiet dar; es wird unten näher beschrieben.

Mitglieder, Beiträge (Finanzierung)

Gemäß Artikel 3 des Übereinkommens können nicht nur Staaten, sondern auch Hoheitsgebiete Mitglied der WMO werden, wenn sie einen eigenen meteorologischen Dienst unterhalten. Ende 1973 gehörten 138 Mitglieder (126 Staaten und 12 Hoheitsgebiete) der WMO an.

Bei der Finanzierung ist zu unterscheiden zwischen den vom Kongreß festgesetzten und aufgeschlüsselten Mitgliedsbeiträgen einerseits und außer-

etatmäßigen Mitteln andererseits. Das gesamte Programm der T. Z. einschließlich der dafür verantwortlichen Einheiten des Sekretariats wird fast ausschließlich von außeretatmäßigen Mitteln getragen.

Durch die Beibehaltung des Prinzips daß die Mitglieder an der Durchführung der Aufgaben aktiv mitarbeiten, kann der reguläre, auf den Mitgliedsbeiträgen beruhende Haushalt der Organisation in bemerkenswert bescheidenen Grenzen gehalten werden; für die vierjährige Finanzperiode 1972 bis 1975 beträgt er 23,4 Mill. US-Dollar.

Andererseits haben die für T. Z. zur Verfügung stehenden Mittel dahingehend zugenommen, daß sie etwa ab 1960 dem regulären Haushalt gleichkamen und heute (einschließlich des Wertes freiwilliger Sach- und Dienstleistungen) fast dem zweifachen Haushalt entsprechen.

Die Arbeit der WMO unter Entwicklungshilfe-Aspekten

Programme

Der Status als Sonderorganisation erschloß der WMO die Möglichkeit, an dem 1949 geschaffenen „Erweiterten Technischen Hilfsprogramm“ (EPTA) der Vereinten Nationen teilzunehmen. 1951 wurde sie zum EPTA zugelassen; 1952 wurden die ersten bescheidenen Hilfsprojekte durchgeführt. Damit begann die Entwicklungshilfe-Tätigkeit der Organisation, aus der inzwischen eins ihrer ständigen Programme geworden ist.

Inzwischen ist aus EPTA und Sonderfonds das Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (UNDP) entstanden. In welcher Weise WMO-Projekte im Rahmen dieses Programms zur wirtschaftlichen Entwicklung der Empfängerländer beitragen, wird weiter unten an einigen Beispielen erläutert.

In der zweiten Hälfte der 60er Jahre ergab sich mit dem Aufbau der Welt-Wetter-Wacht ein weiteres Bedürfnis nach Unterstützung bei der Beschaffung oft komplizierter und kostspieliger Wetterbeobachtungs- und Übermittlungseinrichtungen. Da dieses im Rahmen des UNDP nur sehr unvollkommen befriedigt werden kann, schuf die WMO 1968 ein eigenes Freiwilliges Hilfsprogramm (Voluntary Assistance Programm; VAP), das sich auf freiwillige Beiträge ihrer Mitglieder, hauptsächlich auf Sach- und Dienstleistungen, in geringerem Maße auch auf finanzielle Beiträge abstützt.

Teilnahme am VAP ist den Mitgliedern der WMO vorbehalten, während

UNDP-Hilfe jedem Lande offensteht, welches Mitglied der Vereinten Nationen oder einer ihrer Sonderorganisationen ist. Beide Programme bilden heute die Grundpfeiler der WMO-T. Z. Daneben sind zeitweilig begrenzte Mittel aus dem regulären Haushalt der Organisation für bestimmte Hilfszwecke verfügbar gemacht worden, insbesondere für den inzwischen ausgelaufenen „New Development Fund“ (NDF). Seit 1968 werden auch eine Anzahl von langfristigen Ausbildungsstipendien aus dem Haushalt finanziert.

Im Jahre 1971 wurde zum ersten Mal ein Jahresniveau von 10 Mill. US-Dollar erreicht mit Projekten von etwa 6 Mill. US-Dollar aus externen Quellen und etwa 4 Mill. US-Dollar aus eigenen Programmen. Mehr als 100 Länder haben bisher Unterstützung erhalten.

Informationen über die zahlreichen, bisher durchgeführten großen und kleinen Hilfsprojekte finden sich in (3), (4), (5), (6) und (7); hier können nur wenige Beispiele gegeben werden.

Projekte zur Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung

Zwei Hauptgesichtspunkte lassen sich hierbei unterscheiden:

- a) Optimale Nutzung der naturgegebenen Wetter- und Klimaverhältnisse,
- b) Vermeidung oder Verringerung wetterbedingter Schäden.

In Lateinamerika z. B. arbeitet die WMO seit Jahren an einer systematischen Bestandsaufnahme der potentiellen Wasservorräte mit. Langjährige meteorologische und hydrologische Beobachtungen sind die Voraussetzung für rationelle Planungen; das Fehlen solcher Beobachtungsdaten hat früher mehrfach zu Fehlinvestitionen geführt, indem Talsperren oder Wasserkraftwerke über- oder unterdimensioniert wurden. Seither hat die WMO in vielen Ländern Lateinamerikas und Asiens am Aufbau meteorologischer und (wegen des engen Zusammenhanges) auch hydrologischer Beobachtungsnetze mitgeholfen.

In Afrika befaßte sich ein Großprojekt mit dem Wasserhaushalt des Viktoriassee-Gebietes. Sieben Länder waren daran beteiligt: die Anliegerstaaten Kenia, Tansania und Uganda, ferner im Einzugsgebiet Rwanda und Burundi sowie nilabwärts Sudan und Ägypten. Die Wassernutzung in diesem riesigen Gebiet ist ein recht komplexes Problem; das WMO-Projekt hat umfang-

reiches Material erbracht, welches als Planungsgrundlage für Entwicklungsvorhaben wie Landgewinnung, künstliche Bewässerung und hydroelektrische Krafterzeugung dienen kann.

Andere Projekte befassen sich mit der Einrichtung von Hochwasserwarndiensten, mit der Bereitstellung von Klimadaten für Raumnutzung, landwirtschaftliche Planung und Schädlingsbekämpfung, mit der Versorgung der Luftfahrt mit meteorologischen Informationen und vielen anderen praktischen Anwendungen.

Eine weitere Gruppe von Projekten dient der Verringerung der enormen Schäden, die alljährlich durch tropische Wirbelstürme (im westl. Mittelatlantik: Hurikane, im Pazifik: Taifune) angerichtet werden. Man schätzt, daß die Taifunschäden in Südostasien im jährlichen Durchschnitt rund 700 Mill. US-Dollar betragen, abgesehen von den beträchtlichen Verlusten an Menschenleben. Sie treffen zumeist Länder, die sich in einer kritischen Entwicklungsphase befinden und absorbieren oft gerade jene bescheidenen Produktionsüberschüsse, die andernfalls für Investitionen oder für eine Verbesserung des Lebensstandards verfügbar wären. Wenn es gelingt, nur ein Fünftel dieser Schäden zu verhindern, so entspräche das Ersparnissen von durchschnittlich 140 Mill. US-Dollar im Jahr.

Voraussetzung dafür sind u. a. frühzeitige Warnungen, um Schutzmaßnahmen für Menschen, Vieh und Erntebestände treffen zu können. Mehrere Großprojekte im atlantischen und pazifischen Raum dienen diesem Zweck, z. B. durch Aufstellen von großen Radargeräten, mit denen die heranahenden Wirbelstürme schon in größerer Entfernung erkannt werden können, durch Vorkehrungen für rasche Nachrichtenübermittlung und für Warnungen, ferner durch Untersuchungen über das Verhalten der Wirbelstürme und ihre zu erwartenden Auswirkungen, unter denen Überflutungen oft eine verheerende Rolle spielen.

Unterstützung beim Aufbau der Welt-Wetter-Wacht

Zahlreiche Länder erhalten Unterstützung beim Aufbau von Beobachtungseinrichtungen, insbesondere von Radiosondenstationen für Messungen in der höheren Atmosphäre oder von Fernmeldeeinrichtungen. Als Beispiel sei der Ausbau leistungsfähiger Funkanlagen in Nairobi (Kenia) genannt zum Austausch mit Offenbach/Main von Wetterbeobachtungen zwischen Europa und weiten Teilen Afrikas.

Ein anderes Beispiel ist die Ausstattung mancher Länder mit sogenannten APT-Empfangsanlagen, mit denen die von Wettersatelliten aus der Höhe aufgenommenen und ausgestrahlten großräumigen Wolkenbilder am Boden aufgenommen werden können. Solche Aufnahmen stellen nicht nur eine wertvolle Ergänzung der mit konventionellen Methoden gemachten meteorologischen Beobachtungen dar, sondern vermitteln darüber hinaus auch Informationen aus Wüsten- und Meeresgebieten, aus denen sonst kaum Meldungen erhältlich sind. So wird z. B. die frühzeitige Erkennung eines erst in Bildung befindlichen tropischen Wirbelsturmes durch Satellitenaufnahmen wesentlich erleichtert.

Unterstützung dieser Art wird vorwiegend im Rahmen des Freiwilligen Hilfsprogramms (VAP) gegeben, zu dem seit 1968 bisher 55 Mitglieder der WMO Beiträge im Werte von fast 25 Mill. US-Dollar geleistet haben, und zwar rund 20 Mill. in Form von Sach- oder Dienstleistungen, 2,3 Mill. US-Dollar in bar und weitere 2,3 Mill. durch Übernahme von VAP-Projekten in ihr eigenes bilaterales Hilfsprogramm (8).

Beschaffung von Instrumenten und Geräten

Im Rahmen entsprechender UNDP- und VAP-Projekte werden beträchtliche Mengen von Instrumenten und Geräten geliefert, und zwar:

- Meteorologische Instrumente (für Boden- und Höhenbeobachtungen, für agrarmeteorologische und hydrometeorologische Sonderzwecke, zur Messung von Sonnen- und Windenergie usw.),
- Hydrologische Instrumente (Pegel, Strömungsmeßgeräte, Untersuchung von Sedimenten usw.),
- Eichgeräte für meteorologische und hydrologische Instrumente,
- Seilbahnen (über Flüsse) für Strömungsmessungen,
- Instrumentenwerkstätten und -laboratorien,
- Wetter-Radargeräte,
- Fernmeldegerät (Funk-, Fernschreib-, Faksimile- Sende- und Empfangsgerät, automatische Vermittlungen, Empfangsgeräte zur Satelliten-Aufnahme usw.),
- Datenverarbeitungsgerät (mechanisch und elektronisch),
- Kraftfahrzeuge (Lastwagen, Jeeps usw.),

- Wasserfahrzeuge (Boote für hydrologische Messungen und zum Instrumententransport),
- Ausbildungshilfen (Lehrbücher, Demonstrationinstrumente, Projektoren, Tonbandgeräte usw.).

Für UNDP-Projekte wird das benötigte Gerät von der WMO nach Einholen mehrerer Angebote gekauft; für VAP-Projekte wird der Bedarf veröffentlicht als Grundlage für freiwillige Sachspenden von Mitgliedern (8).

Infrastruktur; Personalausbildung

Die Versorgung der Wirtschaft jeden Landes mit den benötigten Informationen ist Angelegenheit der nationalen meteorologischen (und hydrologischen) Dienste; in über 70 Ländern hat die WMO beim Aufbau, der Konsolidierung oder Erweiterung solcher Dienste mitgeholfen.

Ein wesentlicher Beitrag hierzu ist die Ausbildung von Fachpersonal für die Entwicklungsländer; etwa 35 vH der UNDP-Tätigkeit und rund 10 vH des VAP sind dieser Aufgabe gewidmet, für die folgende Möglichkeiten zur Verfügung stehen:

1. Verleihung von Stipendien zur Ausbildung an ausländischen Institutionen oder zum Hospitieren in den Diensten hochentwickelter Länder. Zur Behebung des Mangels an akademisch gebildetem Personal wurden langfristige Stipendien („long-term fellowships“, LTF) eingeführt, die die gesamte Studiedauer umfassen. Bis Ende 1973 wurden 1565 Stipendien, darunter 313 LTF verliehen.
2. Entsendung von Experten zur Abhaltung von Ausbildungskursen oder zur praktischen Anleitung im Lande selbst. In einigen geeigneten Entwicklungsländern wurden mit WMO-Hilfe Ausbildungsstätten meist regionalen Charakters (Universitäts-Lehrstühle und Schulen für Personal mittlerer Grade) aufgebaut.
3. Abhaltung von (bisher mehr als 45) regionalen Seminaren über aktuelle Themen, wie meteorologische Betreuung von Düsenflugzeugen, Vorhersage tropischer Wirbelstürme, meteorologische Beratung von Landwirtschaft und Wasserwirtschaft und anderes mehr.

Mit diesen verschiedenen Mitteln haben bisher mehr als 12000 Angehörige von Entwicklungsländern eine Aus- oder Weiterbildung erhalten.

Auswertung der Ergebnisse

Während die unmittelbaren Ergebnisse eines Projekts (z. B. Zahl der mit WMO-Hilfe aufgebauten meteorologischen und hydrologischen Stationen, Anzahl ausgebildeten Personals) verhältnismäßig leicht erfaßbar sind, kommen die langfristigen Auswirkungen auf Wirtschaftssektoren der Empfängerländer oft erst Jahre danach zum Tragen.

Nach den ersten 20 Jahren Entwicklungshilfetätigkeit hat die WMO den Versuch gemacht, in einer diesen ganzen Zeitraum umfassenden Evaluierung auch die langfristigen Resultate zu erfassen. Die Ergebnisse sind in (4) veröffentlicht worden.

Literaturhinweise:

- (1) One hundred years of international co-operation in meteorology (1873 bis 1973), a historical review, WMO-No. 345, 1973.
- (2) E. LINGELBACH, Die Welt-Wetterwacht der Weltorganisation für Meteorologie (WMO); Vereinte Nationen 1971, S. 165—171.
- (3) WMO helps the developing countries, WMO-No. 307, 1971.
- (4) 20 Years of WMO assistance, WMO-No. 338, 1972.
- (5) H. SEBASTIAN, Technische Zusammenarbeit im Rahmen der Weltorganisation für Meteorologie (WMO); Meteorologische Rundschau 1970, S. 1—9 und 33—40.
- (6) H. SEBASTIAN, Entwicklungshilfe durch die Weltorganisation für Meteorologie; Umschau in Wissenschaft und Technik, 1971, S. 48—50.
- (7) H. SEBASTIAN, Zwanzig Jahre Entwicklungshilfe der Weltorganisation für Meteorologie; Vereinte Nationen 1973, S. 78—83.
- (8) Consolidated report on the Voluntary Assistance Programme including projects approved for circulation in 1973, WMO-No. 374, 1974.

Die Tätigkeit der WMO im Jahre 1973

Technische Zusammenarbeit im Jahre 1973

1973 wurden 94 Länder durch größere oder kleinere WMO-Projekte unterstützt.

Der finanzielle Wert der im Rahmen des UNDP durchgeführten Projekte war mit knapp 5,6 Mill. US-Dollar etwas niedriger als im Vorjahr (6,1 Mill. US-Dollar); dies lag hauptsächlich an unvermeidbaren Verzögerungen bei der Durchführung einiger Projekte.

Vier neue Großprojekte wurden 1973 genehmigt; 21 in früheren Jahren genehmigte Großprojekte befanden sich in verschiedenen Stadien der Durchführung. Dazu kam ein FUNDWI-Projekt (Irian Jaya) sowie die Mitarbeit der WMO an je einem Großprojekt der FAO und der ICAO.

Unter den regionalen Projekten der Technischen Hilfe (UNDP) wurden 1973 in der Region Asien und Südwest-Pazifik abgehalten:

- ein Ausbildungsseminar in Australien über die Vorhersage tropischer Wirbelstürme und entsprechende Warnsysteme,
- eine Technische Konferenz in Thailand über die Rolle, welche meteorologische Dienste bei der Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung spielen.

Der finanzielle Wert der im Jahre 1973 im Rahmen des Freiwilligen Hilfsprogramms (VAP) geleisteten Unterstützung wird auf 4—5 Mill. US-Dollar geschätzt. 1973 war das sechste Jahr, in dem das VAP in Tätigkeit war. Die in diesem Jahre erhaltenen freiwilligen Beiträge betragen fast 0,5 Mill. US-Dollar in bar sowie Sach- und Dienstleistungen im Werte von etwa 3,7 Mill. US-Dollar.

Unter den insgesamt 374 Stipendiaten aus 74 Ländern, die sich 1973 in verschiedenen Stadien ihrer Ausbildung befanden, waren 180 Inhaber langfristiger Stipendien zum akademischen Studium; 40 davon wurden 1973 verliehen.

Jahr	Zahl der unterstützten Länder	Experten-Missionen	Verleihung von Stipendien	Wert der Projekte in Mill. US-Dollar		
				UNDP	Treuhand-Mittel	Gesamt
1972	78	151	110	6,043	0,089	6,132
1973	85	142	98	5,500	0,060	5,560

ihres eigenen bilateralen Hilfsprogramms durch:

Burma (Wert etwa 263 000 DM), Projekt abgeschlossen:

Lieferung und Installation von vier kompletten Faksimile-Empfangsstationen für den burmanesischen Wetterdienst zum Empfang von meteorologischen Daten für Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Verkehr.

Tunesien (Wert etwa 3 300 000 DM), noch nicht abgeschlossen:

Aufbau einer Empfangszentrale und eines Betriebsraumes im Zentralgebäude des Wetterdienstes, verbunden miteinander durch ein 50paariges, etwa 12 km langes Kabel.

Thailand (Wert etwa 300 000 DM), Durchführung 1974:

Vervollständigung von Faksimile-Sende- und Empfangsanlagen an vier Stationen des thailändischen Wetterdienstes.

Personelle deutsche Beteiligung

1953 engagierte die WMO den ersten deutschen Meteorologen für eine Experten-Mission in ihrem kurz zuvor angelaufenen Programm der Technischen Hilfe. Seither sind 30 Fachleute (vorwiegend Meteorologen, einige Physiker und Hydrologen, einige Angehörige des gehobenen Wetterdienstes) aus der Bundesrepublik in 39 T. Z.-Missionen der WMO tätig gewesen; mehrere von ihnen waren als Projektleiter von Großprojekten eingesetzt. Außerdem waren deutsche Wissenschaftler mehrfach kurzfristig als hochqualifizierte Lehrkräfte für Ausbildungs-Seminare der WMO engagiert. Die 39 Missionen unterschiedlicher Länge verteilten sich auf folgende Sachgebiete: Entwicklung und Organisation meteorologischer Dienste (8), Personalausbildung (7), Agrarmeteorologie (6), Hydrometeorologie (4), Hydrologie (4), Instrumentenwesen (4), Flugwetterdienst (3) und Wetterfernmeldewesen (3).

Die überwiegende Mehrheit der deutschen WMO-Experten wurde vom DWD gestellt; der kleinere Teil setzte sich aus Angehörigen von Hochschulen, einigen Pensionären des DWD und einer Anzahl „freier“ Wissenschaftler zusammen. Ende der 50er und Anfang der 60er Jahre stand die Bundesrepublik mit der Gestellung von über 10 vH der WMO-Experten an der Spitze; im Gesamtdurchschnitt der Jahre lag ihr Anteil bei 7 vH. Da die in jedem Falle freiwilligen Meldungen deutscher Fachleute jedoch mit dem

stark angewachsenen WMO-Programm nicht Schritt gehalten haben, sondern eher zurückgegangen sind, betrug der deutsche Experten-Anteil in den letzten Jahren nur noch 4 vH.

Bisher hat die Bundesrepublik der WMO noch keine „Beigeordneten Sachverständigen“ (associate experts) zur Verfügung gestellt; ein diesbezügliches Abkommen steht nunmehr jedoch vor dem Abschluß.

Im Sekretariat der WMO war ein aus dem DWD beurlaubter Bundesbeamter während der Aufbauperiode von 1958 bis 1970 für das T. Z.-Programm verantwortlich; er war damit gleichzeitig der erste Deutsche, dem die Verantwortung für einen Sektor des Entwicklungsprogramms der Vereinten Nationen (zunächst EPTA, später UNDP) übertragen wurde. Anschließend daran war er noch als Berater des Generalsekretärs tätig.

Ein weiterer Beamter aus dem DWD ist im Rahmen der T. Z. seit 1968 für das Stipendiaten-Programm der WMO

verantwortlich, welches ebenfalls stark angewachsen ist. 1968 befanden sich 203, im Jahre 1973 374 WMO-Stipendiaten, darunter 180 Inhaber von langfristigen Stipendiaten, in Ausbildung in verschiedenen Gastländern.

Ausbildung von WMO-Stipendiaten in der Bundesrepublik

Insgesamt wurden 1 565 Ausbildungsstipendien durch die WMO von 1952 bis 1973 verliehen. Als Gastländer, insbesondere für Universitätsstudien, kamen vorwiegend solche in Frage, in denen auf englisch, französisch oder spanisch gelehrt wird.

Trotz der Sprachbarriere wurden bisher 81 WMO-Stipendiaten, das sind etwa 5 vH, in der Bundesrepublik aufgenommen, allerdings vorwiegend zu kürzerer, intensiver Spezialausbildung, meistens im Deutschen Wetterdienst; drei WMO-Stipendiaten studieren gegenwärtig an deutschen Hochschulen.

H. SEBASTIAN, Genf

Problem- und Diskussionsecke

Nach einer Frostrnacht



Für das im Heft 4/74 beschriebene Phänomen habe ich folgende Erklärung: Wie beschrieben, war das Wasser im Becken mit Luft angereichert. Der Einfachheit halber sei eine homogene Anreicherung im ganzen Becken angenommen. Außerdem sei vorausgesetzt, daß das Wasser im Becken sich in Ruhe befand, was nach dem Baden bei Windstille in kurzer Zeit der Fall gewesen sein dürfte. Die Luftbläschen sind nun senkrecht zur Wasseroberfläche hochgestiegen, lediglich diejenigen Bläschen, die auf ein Hindernis trafen, wichen diesem aus und stiegen entlang den senkrechten Projektionslinien dieses Hindernisses hoch. Entlang der Grenzen der Senk-

rechtprojektion der Leiter auf die Wasseroberfläche wurde nun die Bläschendichte viel größer als die auf der restlichen Wasseroberfläche, da alle Bläschen, die direkt unterhalb des Hindernisses gewesen sind, sich auf einer schmalen Linie an der Oberfläche angesammelt haben. Durch die Eisbildung während des Vorganges wurden die aufgestiegenen Luftbläschen an der Oberfläche fixiert, was zu der oben beschriebenen Erscheinung führte.

G. SCHWEIZER, z. Z. München

Die Glosse

„Es gibt 3 Arten von Wetter:
Das Wetter, das man will,
Das Wetter, das man hat,
Das Wetter, das der Wetterbericht vorhersagt.“

(Robert Lembke in der Fernsehsendung „Was bin ich?“ am 2. 7. 74.)

Anschriften der Autoren

Max-Planck-Institut für Chemie
(Otto-Hahn-Institut)
Postfach 3060
65 Mainz

Bisher wurden folgende Themen in **promet** behandelt:

Jg. 1, H. 1/2'71	Mikro- und Makroturbulenz
Jg. 2, H. 1'72	Numerische Vorhersage
2'72	Satellitenmeteorologie I
3'72	Satellitenmeteorologie II
4'72	Wolkenphysik
Jg. 3, H. 1'73	Das Barotrope Modell
2'73	Geschichte der meteorologischen Strahlungsforschung
3'73	Meßtechnik und Automation
4'73	Technoklimatologie
Jg. 4, H. 1'74	Die Grenzschicht der Atmosphäre
2'74	Medizinmeteorologie
3'74	Instrumente und Methoden
4'74	Vorhersageprüfung
Jg. 5, H. 1'75	Agrarmeteorologie heute

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