

ANNALEN DER METEOROLOGIE

(Neue Folge)

Nr. 17

Festsymposium

„200 Jahre  
meteorologische Beobachtungen  
auf dem Hohenpeißenberg“

am 8. Mai 1981 in Polling b. Weilheim/Obb.

Offenbach am Main 1981

Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

ISSN 0072-4122  
ISBN 3-88148-190-7

---

Herausgeber und Verlag:

Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Frankfurter Straße 135  
6050 Offenbach a.M.

Redaktion: Dipl.-Met. Max Schlegel

Alle Rechte vorbehalten

## INHALT

	Seite
<b>Vorwort</b>	5
<b>Festsymposium „200 Jahre meteorologische Beobachtungen auf dem Hohenpeißenberg“</b>	
<b>Grußadressen</b>	7
<b>Begrüßungsansprachen</b>	
<i>Prof. Dr. Ernst Lingelbach</i> Präsident des Deutschen Wetterdienstes	7
<i>Landrat Manfred Blaschke</i> Landkreis Weilheim/Schongau	8
<b>Festvorträge</b>	
<i>Dr. Walter Attmannspacher</i> Leiter des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeißenberg „Geschichte der meteorologischen Beobachtungen und des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeißenberg“	8
<i>Prof. Dr. Jaromir Nemeč</i> Director, Hydrology and Water Resource Department, Weltorganisation für Meteorologie, Genf „Bedeutung von Radarniederschlagsmessungen für die Hydrologie“ (Vorgetragen vom Generalsekretär der Weltorganisation für Meteorologie, <i>Prof. Dr. A. C. Wiin-Nielsen</i> )	12
<i>Prof. Dr. Hans Ulrich Dütsch</i> Direktor des Laboratoriums für Atmosphärenphysik der ETH Zürich „Die Ozonschicht der Atmosphäre, ihre Erforschung, ihre Bedeutung“	16
<b>Schlußworte des Präsidenten des Deutschen Wetterdienstes</b>	22



## VORWORT

Nur wenige Wetterstationen unserer Erde können auf eine 200jährige ununterbrochene Beobachtungsreihe zurückblicken; bei den Bergwetterstationen trifft dies nur für den Hohenpeißenberg zu.

Aus Anlaß des 200jährigen Bestehens systematischer meteorologischer Beobachtungen auf dem Hohenpeißenberg hatte der Deutsche Wetterdienst am 8. Mai 1981 zu einem Festsymposium im barocken Bibliothekssaal des ehemaligen Augustiner-Chorherren-Stifts Polling bei Weilheim/Obb. eingeladen.

Die vorliegende Veröffentlichung verfolgt hauptsächlich den Zweck, die auf diesem Festsymposium gehaltenen wissenschaftlichen Vorträge einem größeren Interessentenkreis zugänglich zu machen. Eine ausführliche Darstellung über die Geschichte meteorologischer Beobachtungen auf dem Hohenpeißenberg, über das dortige Klima sowie über Ergebnisse von Radarniederschlags- und Ozonmessungen auf dem Hohenpeißenberg ist bereits zum Zeitpunkt des Festsymposiums in den „Berichten des Deutschen Wetterdienstes“ (Nr. 155) erschienen.

Auch an dieser Stelle gilt der Dank all denen, die sich um das Fortbestehen einer so langen Beobachtungsreihe verdient gemacht haben, im besonderen den Mitarbeitern des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeißenberg für ihren großen Einsatz bei der Erfüllung der gestellten Aufgaben.

*Prof. Dr. Ernst Lingelbach*  
Präsident des Deutschen Wetterdienstes



## GRUSSADRESSEN

Vom Bayerischen Ministerpräsidenten erhielt der Leiter des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeißenberg folgendes Glückwunschs Schreiben:

*Der Bayerische Ministerpräsident München, 7.5.1981*

*Sehr geehrter Herr Dr. Attmannspacher!*

*Für Ihre Einladung zu dem Festsymposium „200 Jahre Meteorologische Beobachtungen auf dem Hohenpeißenberg“ danke ich Ihnen. Leider muß ich Ihnen mitteilen lassen, daß es mir mein übervoller Terminkalender nicht erlaubt, nach Polling zu kommen. Ich bedauere das gerade deshalb, weil Bayern mit einem gewissen Stolz von sich behaupten kann, die älteste Bergwetterstation der Erde auf seinem Boden zu beherbergen.*

*Umso herzlicher ist die Gratulation gemeint, die ich der Jubilarin auf diesem Weg übermittle.*

*An beziehungsreicher Stätte wird eines Aktes wissenschaftlicher „Liberalitas Bavariae“ gedacht, durch den die Meteorologie neuzeitliches Gerät zur wetterkundlichen Beobachtung und Forschung an die Hand bekam. Die in 200 Jahren auf dem Hohenpeißenberg gewonnenen Erkenntnisse stellen einen stattlichen Beitrag zum heutigen Wissensstand der internationalen Fachwelt dar. Daß diese bei dem Festsymposium mit namhaften Gelehrten vertreten ist, unterstreicht den Rang der Station auf dem „bayerischsten aller Berge“.*

*Ich spreche dem Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg meine Anerkennung zu seiner bisherigen Arbeit aus und wünsche ihm auch für das dritte Jahrhundert seines Bestehens vollen Erfolg.*

*Mit freundlichen Grüßen*

*F. J. Strauß*

Von zahlreichen weiteren Glückwunschtelegrammen und -schreiben, die auch anerkennende Worte über die wissenschaftlichen Arbeiten des Meteorologischen Observatoriums zum Ausdruck brachten, seien die folgenden Absender besonders erwähnt:

*Prof. Dr. Herbert Franke*

Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München

*C. R. Mateer*

President, Ozone Commission of the International Association of Meteorology and Atmospheric Physics (I.U.G.G., IAMAP), Ontario/Canada

*Michael D. Hudlow*

Acting Director, Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology, NOAA, National Weather Service, Silver Spring, USA

*W. D. Komhyr*

Chief, GMCC/MTGG, NOAA, Environmental Research Laboratories, Boulder/USA

*Dr. James E. Lovill*

Lawrence Livermore National Laboratory, Satellite Ozone Analysis Center, Livermore/USA

*Prof. Dr. Hans-Jürgen Bolle*

Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck

*Dr. H. J. Albrecht*

Union Radio Scientifique Internationale, Landesausschuß Bundesrepublik Deutschland, Bonn

## Begrüßungsansprachen

*Prof. Dr. Ernst Lingelbach*

Präsident des Deutschen Wetterdienstes

Sehr verehrte Festgäste, liebe Kolleginnen und Kollegen!

Es ist eine sehr seltene Gelegenheit zu einem 200jährigen Jubiläum zusammenzukommen und noch dazu in einem wundervollen Raum wie diesem Bibliothekssaal hier, für dessen Überlassung wir Herrn Dr. Wittermann sehr dankbar sind. Ich möchte Sie alle recht herzlich begrüßen, aber ich erlaube mir einige Gäste namentlich willkommen zu heißen, weil sie an besonderer Stelle für die Meteorologie wirken oder eine besonders enge Verbindung zu dem Observatorium des Deutschen Wetterdienstes auf dem Hohenpeißenberg oder zur 200jährigen Geschichte der meteorologischen Beobachtungen auf diesem Berg haben.

Herr Prof. Wiin-Nielsen, Sie sind als Generalsekretär der Weltorganisation für Meteorologie von Genf hierher gekommen und wollen nachher zu uns sprechen, was Herr Dr. Attmannspacher schon erwähnt hat. Das ist eine große Ehre für den Deutschen Wetterdienst, aber auch für unser ganzes Land, das als Staat Ihrer Organisation angehört. Seien Sie in Ihrem Amt aber auch als Kollege und Freund herzlich willkommen.

Ganz besonders begrüßen möchte ich auch den Vertreter der Regierung des Freistaates Bayern, Herrn Min.-Rat. Toepel. Der Deutsche Wetterdienst ist für die vielseitige Förderung seiner Arbeiten dem Bundesland Bayern gegenüber sehr dankbar.

Ein herzlicher Gruß gilt den Vertretern des Erzbischöflichen Ordinariats München-Freising, Monsignore *Mois* und Geistlichen Rat *Baur*. Wir werden nachher hören, welche großen Verdienste die Kirche am Zustandekommen der langen Beobachtungsreihe des Observatoriums hat.

Herr *Prof. Ehlers* von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, und Herr *Prof. Schmeidler* von der Universitätssternwarte München, Ihnen gilt in Dankbarkeit ebenfalls ein besonderer Gruß.

Viele Dienststellen des Bundes und des Freistaates Bayern sowie der umliegenden Gemeinden haben Vertreter entsandt, auch sie möchte ich alle recht herzlich willkommen heißen.

Landrat *Blaschke*  
Landkreis Weilheim/Schongau

Herr Präsident, verehrte Festgäste!

Der Pfaffenwinkel, Angolus dazadotum, so benannt von Dekan *Franz Gailer* (Raisting) im Jahre 1756, ist nicht nur das Land der Bauern, Künstler und Mönche, sondern auch ein Landstrich, in dem seit alters her Technik und Fortschritt ihre Heimstätte haben, wie die heutige Jubiläumsfeier unschwer beweist. Namens des Landkreises Weilheim/Schongau und ganz persönlich heiße ich Sie, meine Damen und Herren, sehr herzlich willkommen, die Sie aus Anlaß der 200. Jahrfestfeier des Observatoriums Hohenpeißenberg hierher gekommen sind. Der Landtagsabgeordnete *Sepp Klasen* hat mich ebenfalls gebeten, Ihnen seine Grüße hier auszusprechen. Von einem Augustiner-Chorherrn-Stift gegründet, von Augustiner Chorherrn zu Beginn der Beobachtungstätigkeit geleitet, wo sonst könnte die Jubelfeier des Observatoriums stattfinden, als im berühmten Bibliothekssaal des ehemaligen Augustiner-Chorherrn-Stifts Polling. Der Hohe Peißenberg und Polling,

## Festvorträge

*Dr. Walter Attmannspacher*  
Leiter des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeißenberg

# Geschichte der meteorologischen Beobachtungen und des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeißenberg

Die erste Anregung, daß der als Wallfahrtsort längst berühmte Hohenpeißenberg beständig als naturwissenschaftliche Sternwarte genutzt werden soll, stammt vom Geheimen Rat *Johann von Lori*. Er war von Haus aus Jurist und trotzdem ein begeisterter Naturwissenschaftler. Er war Mitbegründer der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und machte 1772 beim *Kürfürsten Max III. Josef* den Vorschlag, daß das Stift der Augustiner Chorherrn Rottenbuch mit seiner Niederlassung auf dem Hohenpeißenberg eine Sternwarte aufbauen und betreiben sollte. Mit Unterstützung des Stiftes Polling sollte dies realisiert werden. Polling bot Ausbildungshilfe an für den Augustiner Chorherrn *Cajetan Fischer*. Er erhielt Unterricht in Mathema-

Zum Schluß, aber nicht weniger herzlich, darf ich allen Kollegen und Freunden aus dem Ausland, die heute hier unter uns sind, ein Willkommen in dieser schönen Gegend zurufen.

Das Meteorologische Observatorium Hohenpeißenberg führt mit großem Erfolg eine lange Tradition fort und verbindet sie mit modernster Forschung, die weltweit anerkannt ist. Lassen Sie uns heute einen kleinen Einblick nehmen in die Geschichte und die gegenwärtige Arbeit dieser Forschungsstelle. Lassen Sie uns das in Dankbarkeit tun in Erinnerung der Frauen und Männer, die hier gearbeitet haben, und die heute mit Herrn *Dr. Attmannspacher* zusammen um neue Kenntnisse bemüht sind. Das ist mein Wunsch, mit dem ich schließen möchte.

Wirkungsstätten von Wissenschaft und Religion, reichen sich die Hand.

Zum 200sten Geburtstag des Observatoriums Hohenpeißenberg überbringe ich die besten Glückwünsche des Landkreises. Zugleich danke ich dem Deutschen Wetterdienst und den Mitarbeitern des Observatoriums Hohenpeißenberg, allen voran Ihnen, Herr *Dr. Attmannspacher*, für die viele Mühe und Arbeit, die zur Vorbereitung dieser Feier aufgewendet wurden. Ich danke aber auch für die jederzeit gute Zusammenarbeit, die zwischen dem Deutschen Wetterdienst, Observatorium Hohenpeißenberg und dem Landratsamt herrschen. Als ein kleines Geburtstagsgeschenk und als Zeichen des Dankes darf ich Ihnen, Herr *Dr. Attmannspacher*, den Ehrenteller des Landkreises Weilheim/Schongau überreichen. Ich wünsche dem Observatorium Hohenpeißenberg eine erfolgreiche Zukunft.

tik und Physik, um dann auf dem Hohenpeißenberg als Sternwarte tätig sein zu können. Es wurden Geräte gekauft, darunter ein Spiegelteleskop von dem berühmten Mechanikus *Brander* in Augsburg, das heute noch vorhanden ist. Der Bau einer großen Plattform auf dem Klostergebäude am Berg wurde in Angriff genommen. Die Sternwarte sollte etwa die Größe der damals schon berühmten Sternwarte in Kremsmünster bekommen. *Cajetan Fischer* begann bereits mit Forschungen über Sonnenflecken.

Leider zerschlug sich dieses ganze Vorhaben durch den frühen Tod des Kurfürsten, der am 30. Dezember 1777 verschied. Er war kinderlos, der Wittelsbacher *Karl Theodor von der Pfalz* übernahm in München die Regentschaft

und zog in die Münchner Residenz. Er hatte andere Vorstellungen und Pläne. Sein äußerst fähiger Hofkaplan und Physikus *Johann Jakob Hemmer* hatte bereits vor diesem Umzug in Mannheim die Bildung einer dritten Klasse der Mannheimer Akademie, der Societas Meteorologica Palatina, vorgeschlagen. Deren Gründung im Oktober 1780 konnte die Deutsche Meteorologie im vorigen Jahr in Mannheim feierlich begehen. Die Stiftungsurkunde dazu wurde von *Karl Theodor* in München unterschrieben. Eine dieser 39 Palatina-Stationen sollte auf dem Hohenpeißenberg installiert werden. Dieses, für damalige Verhältnisse unwahrscheinlich große meteorologische Netz reichte vom Ural bis Nordamerika, von Grönland bis zum Mittelmeer. Herr *Hemmer* besuchte im Herbst 1780 den Hohenpeißenberg, um die Geräte zu übergeben und Herrn *Cajetan Fischer* einzuweisen. Dieser war auch Fachmann auf dem Gebiet der Blitzableiter, die ersten Blitzableiter wurden aufgrund seiner Anweisungen auf dem Klostergebäude installiert. Seit damals ist oben auf dem Berg kein Gebäude mehr durch Blitz abgebrannt.

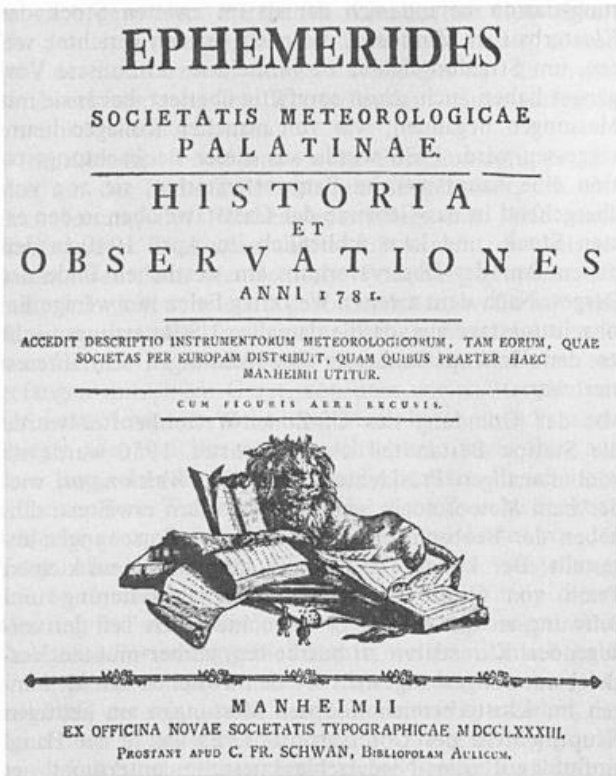


Abb. 1: Titelblatt der Ephemeriden der Pfälzischen Meteorologischen Gesellschaft. (Geschichte und Beobachtungen vom Jahr 1781). Mannheim 1783.

Am 1. Januar 1781 begannen die ersten regelmäßigen meteorologischen Beobachtungen des Wettergeschehens, des Luftdrucks, der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Windrichtung, der Windstärke, der Wolken, der Himmelsbedeckung, der Wolkenart und des Erdbodenzustandes (Abb. 1 u. 2). Es wurden zusätzlich die Mondstellungen bestimmt, es wurde die Deklination und Inklination des erdmagnetischen Feldes jeden Tag genau abgelesen und es wurden bereits auf dem Hohenpeißenberg luftelektrische Messungen begonnen. 1788 übernahm der Chorherr *Albin Schwaiger* diese Beobachtungen und bearbeitete 1792 bereits die erste 10jährige Klimareihe des Hohenpeißberges. Er

schrieb dazu ein kleines Büchlein „Versuch einer meteorologischen Beschreibung des Hohenpeißberges als nöthige Beylage zu einer Prospektkarte“. Ein Originaldruck dieses Büchleins und einen Originalstich dieses Prospekts können Sie heute Nachmittag im Observatorium besichtigen, dank der Unterstützung von Monsignore *Mois*. Dieser kurze Klimabericht war so stark gefragt, daß eine zweite Auflage erscheinen mußte, die auch bald vergriffen war. *Albin Schwaiger* schreibt in seinem Vorwort: „Ich habe es, obwohl mit Schüchternheit gewagt, von den bisherigen Beobachtungen Gebrauch zu machen. Es würde ein viel zu frühzeitiges Unternehmen sein, wenn ich sie als etwas vollkommenes ausgeben wollte. Nein eine Reihe 10jähriger Beobachtungen sei lange nicht ausreichend, das lokale richtig und vollkommen zu bestimmen.“

Mit dem Tode *Jakob Hemmers* 1790, der Seele der Societas Meteorologica Palatina, verfiel allmählich diese Gesellschaft, dazu kamen die Wirren der französischen Revolution, die bereits vorher merkbar waren. 1793 war prak-

302 OBSERV. PEISSENBERGENSES. *Januarius.*

partes proportionales ad nostrum meridianum reduximus. Error quidem unius alteriusve minuti in hac calculandi methodo fubeft; fed cum ad usum meteorologicum duo minuta nullius momenti fiat, ad facilitandum calculum eam iuste adhiberi posse arbitrati sumus.

§ 10.

Observationes botanicas, ac defignatio natorum & defunctorum &c.

Observationes botanicas, quascumque in aspera hac regione capere possumus, omnes fideliter adnotabimus.

Catalogum natorum atque defunctorum ex nostra vicinia perfectum dare, omni, qua possumus, industria conabimur.

Evaporatorium denique, de quo multa jam animo revolvimus, multa tentavimus, brevi tempore reliquis instrumentis adjuagemus.

OBSERVATIONES PEISSENBERGENSES.

Notae observationis ordinatae 7 mat. 2 post. 3 vesp.

Januarius.

Die	Barom.	Th. verae	Th. verae	Hyp.	Declin.	Ventus.	Pluvia.	Evap.	Humid.	Luna.	Costi. No.	Meteora.
1	30.75	0.0	0.0	0.0	0.0	N W 1	0.0	0.0	0.0	11	11	11
2	30.75	0.0	0.0	0.0	0.0	N W 1	0.0	0.0	0.0	11	11	11
3	30.75	0.0	0.0	0.0	0.0	N W 1	0.0	0.0	0.0	11	11	11
4	30.75	0.0	0.0	0.0	0.0	N W 1	0.0	0.0	0.0	11	11	11
5	30.75	0.0	0.0	0.0	0.0	N W 1	0.0	0.0	0.0	11	11	11
6	30.75	0.0	0.0	0.0	0.0	N W 1	0.0	0.0	0.0	11	11	11

Abb. 2: Beobachtungen vom Hohenpeißenberg, Januar 1781 (Auszug)

tisch diese erste große internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Meteorologie zusammengebrochen. (Es gab etwa gleichzeitig ein zusätzliches bayerisches Stationsnetz meteorologischer Beobachtungen, das aber ebenfalls gegen 1790 mit seinen Messungen aufhörte.) Das Stift Rottenbuch, die Chorherrn auf dem Hohenpeißenberg, standen vor der Frage: sollte sie weitermachen oder wie die anderen aufhören. *Albin Schwaiger* war sich klar darüber, daß nur im Zusammenwirken überregionaler, ja internationaler Beobachtungsstationen die Wetterforschung vorangetrieben werden kann und er beschloß mit Zustimmung des Stiftprobstes *Ambrosius Mösner* wenig-

stens auf dem Hohenpeißenberg mit gewohnter Sorgfalt „in Sicht auf die ganze Sache“ weiter zu machen, „auch wenn die Zusammenarbeit mit einer zentralen Stelle für absehbare Zeit nicht gegeben ist.“ *Albin Schwaiger* mußte 1796 den Berg verlassen, er kam als Pfarrvikar nach Oberammergau.

Sein Nachfolger war der Chorherr *Gelasius Karner*, der bereits seit 1794 mit Beobachter war. Sie wissen, 1803 kam der schwere Schlag der unglücklichen Säkularisation, das Kloster Rottenbuch wurde, wie alle Klöster, enteignet, von den 4 Chorherrn, die damals auf dem Hohenpeißenberg waren, durften schließlich zwei bleiben: Der Chorherr *Primus Koch*, der die kirchliche Betreuung der umliegenden Gehöfte übernehmen konnte und somit der erste Pfarrer auf dem Hohenpeißenberg war, lange bevor es eine Gemeinde Hohenpeißenberg gab, und *Gelasius Karner* als Observator. Die beiden Kirchen auf dem Berg und der Klosterbau wurden für überflüssige Gebäude erklärt und zum Abbruch freigegeben. Es fand sich kein Käufer, der es gewagt hätte, gegen die Meinung der Bauern der Umgebung anzugehen. Es konnte dort oben weiter gearbeitet werden, aber unter denkbar schlechten wirtschaftlichen Verhältnissen. Damals schrieb *Karner* einen Brief an seinen ehemaligen Probst *Herkulan Schwaiger*, der in Oberammergau Unterschlupf gefunden hatte. Nach Schilderung seiner äußerst kargen und harten Lebensbedingungen gab er eine sehr aufschlußreiche Auskunft über die Beobachtungen. Er schreibt: „Die Meteorologische Gesellschaft ist, soviel mir bewußt, ohne Leitung. Sie hat viele ihrer Mitglieder und mehrere Beobachtungsorter eingebüßt, und ist überhaupt nicht mehr, was dieselbe nach Absicht ihres durchlauchtigen Stifters sein sollte und könnte. Die Ephemeriden derselben sind unvollständig und unterbrochen. Selbst von den diesartigen Beobachtungen, die man sonst wegen den auffallenden Eigenheiten dieses Berges einer vorzüglichen Aufmerksamkeit gewürdigt hat, hat man seit vollen 11 Jahren keine Kenntnis mehr genommen. Ob dieselben gleich wohl alle Jahr zum Einschicken bereit gewesen, wie ich mich schon vor vielen Jahren und späterhin immer wieder gegen die Kurfürstliche Inventarisationskommission erklärt habe.“ Das heißt, *Gelasius Karner* hat von 1795 bis 1805 bei einem Einkommen, mit dem er sich nur knapp am Leben halten konnte, regelmäßig über 11 Jahre, das sind rund 4000 Tage, früh um 7 Uhr, nachmittags um 2 Uhr und abends um 9 Uhr unentgeltlich diese Klimabeobachtungen ausgeführt, tabelliert, gebündelt, monatsweise zusammengestellt, und wußte nicht, ob all die mit großen Mühen gewonnenen Daten je verwendet werden. Das ist ein Idealismus, das ist ein Glaube an die Bedeutung dieser Meßergebnisse, der für uns heute, nach meiner Meinung, kaum vorstellbar und noch viel weniger nachvollziehbar ist.

*Karner*, der lange Jahre kränklich war, mußte schließlich wegen seiner Krankheit den Berg verlassen, sein ehemaliger Mitbruder *Primus Koch* übernahm neben der Pfarrarbeit zusätzlich die Beobachtungen. Er suchte erneut die Verbindung zur Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Schließlich konnte er 1806 *Prof. Imhoff*, dem damaligen Direktor der Physikalischen Fachrichtung, 12 Jahrgänge der Beobachtungen übergeben. Er schlug zudem vor, daß diese Beobachtungen weitergeführt werden sollten, und daß der erste Observator der Pfarrer auf dem Berg sein sollte, der zweite ein noch einzustellender Schullehrer. Den Schulunterricht hat damals *Primus Koch* auch

noch mitgemacht. Er erhielt zunächst eine hinzögernde Antwort, griff zur Eigenhilfe, stellte einen geistig regsamen jungen Mann ein, *Johann Georg Schmautz*, als provisorischen Schulgehilfen, der nach einer entsprechenden Prüfung in München vom Bayerischen Staat anerkannt wurde. *Primus Koch* sicherte so die Fortführung der Beobachtungen. Die Bayerische Akademie der Wissenschaften verlieh schließlich 1827 dem Pfarrer und Schullehrer auf dem Hohenpeißenberg den amtlichen Charakter als meteorologischer Beobachter.

1838 übertrug die Akademie der Sternwarte München die Betreuung der meteorologischen Station auf dem Hohenpeißenberg. Hier war es besonders der spätere Direktor dieses Instituts, *Prof. Dr. Lamont*, der äußerst interessiert an den Arbeiten auf dem Hohenpeißenberg war, der dafür sorgte, daß neue Geräte kamen, der die Daten bearbeitete, und der auch dafür sorgte, daß alle Daten erhalten blieben. 1878 kam die Station in die Betreuung der Königlichen Meteorologischen Centralstation, die schließlich 1918 Bayerische Landeswetterwarte wurde. 1934 ging die Station in den Reichswetterdienst über. Die Beobachtungsstation befand sich damals im zweiten Stock des Klosterbaus in Zimmern, die nach Norden gerichtet waren, um Strahlungsfehler zu vermeiden, d.h. unsere Vorgänger haben auch schon sorgfältig überlegt, bevor sie mit Messungen begannen, was von manchen Kollegen heute vergessen wird. 1936 wurde aus dieser Beobachtungsstation eine hauptamtliche Bergwetterstation, sie zog vorübergehend in das Gebäude der Gaststätte oben in den ersten Stock, und kam schließlich im April 1940 in den neuen Bau des Observatoriums am westlichen Ende des Berges. Nach dem zweiten Weltkrieg fielen nur wenige Beobachtungstage aus, da die damalige US-Besatzungsmacht an den Hohenpeißenberger Beobachtungen sehr interessiert war.

Mit der Gründung des US-Zonen-Wetterdienstes wurde die Station Bestandteil dieses Dienstes. 1950 wurde sie vom damaligen Präsidenten, *Prof. Dr. Weickmann*, wieder zum Meteorologischen Observatorium erweitert, d.h. neben der Beobachtung wurden wieder Forschungen angestellt. Der Leiter, *Dr. Grunow*, ging mit einem kleinen Team von Mitarbeitern mit großer Begeisterung und Schwung an die Arbeit. Er versuchte einen Teil der vorliegenden Klimadaten zu bearbeiten, vorher mußten Vergleichsmessungen angestellt werden zwischen den Messungen im Klosterbereich und den Messungen am heutigen Hauptmeßfeld des Observatoriums. Es wurde der Hang einfluß auf die Niederschlagsmessung untersucht, es wurde versucht, eine Möglichkeit zu finden, Nebelniederschlag quantitativ zu erfassen. Die kristallinen Strukturen des festen Niederschlags wurden näher betrachtet, es entstanden wunderschöne, zum Teil mikroskopische Aufnahmen von Schneekristallen, Rauheis und Raufrost. Man kann vielleicht sagen, es war die Nostalgiezeit des Observatoriums, es war alles noch viel, viel romantischer als heute.

1964 beschloß der Deutsche Wetterdienst die Tätigkeit auf dem Hohenpeißenberg zu erweitern. Im Rahmen der internationalen Messungen der ruhigen Sonne (IQSY) kamen moderne Geräte zum Hohenpeißenberg. Wir versuchten in kurzer Zeit die Möglichkeit zu schaffen, das Ozon der freien Atmosphäre zu messen mit hochreichenden, in die Stratosphäre hineingehenden Sonden. Wir haben gemessen bis nahezu 42 km Höhe, den Luftdruck, die Luft-

temperatur, die Luftfeuchte, die Windrichtung, und -stärke. Gleichzeitig liefen die Vorbereitungen für Messungen mit dem Wetterradar an. Die Ozonmessungen waren Grundlage für Untersuchungen über die Ozonschicht, die verantwortlich ist als Energiequelle für die Zirkulation in der Stratosphäre, die mit dem Wetter eng zusammenhängt und bei der ein Zusammenhang mit Vorgängen auf der Sonne vorzuliegen scheint. Ozonmessungen sind heute besonders wichtig. Zwei amerikanische Kollegen, *Rowland* und *Molina*, zeigten, daß der Mensch mit häufig benutzten Treibgasen die Ozonschicht schädigen kann. Ich bin sehr glücklich, heute Herrn *Prof. Dr. Rowland* von der Universität in Californien als Gast hier zu haben. Wir konnten die Meßdichte dieser Ozonsondierungen verstärken, um möglichst früh eine Aussage über Änderungen der atmosphärischen Ozonschicht machen zu können, aber das geht in Richtung des Vortrages meines Freundes *Prof. Dr. Dütsch*. Die verstärkten Messungen waren und sind mit Unterstützung der Gesellschaft für Strahlenforschung, als Projektträger des Ministeriums für Forschung möglich geworden. Wir haben versucht, die Genauigkeit der Sonden auf internationaler Basis festzustellen, ebenso jene der Bodenozonmessungen. Unser Ziel war, durch diese Zweckforschung dem Wetterdienst in seinen Aufgaben ein Stück weiter zu helfen.

Wir haben hier noch eine zweite Forschungsgruppe, die sich mit der Radarniederschlagsmessung befaßt, d.h. mit der Messung des Flächenniederschlags mit Hilfe eines Radargerätes. Hier wäre unsere Arbeit nicht möglich gewesen, wenn uns die Deutsche Forschungsgemeinschaft materiell nicht sehr stark geholfen hätte, wofür wir sehr dankbar sind. Ich freue mich, daß ein Vertreter derselben, Herr *Dr. Szillinski* heute anwesend ist. Wir haben angefangen mit einem Gerät, von dem wir wußten, daß es für diese Messungen nicht ideal ist. Es hatte einen Parabolspiegel wie eine Banane, es steht heute noch oben auf dem Berg, aber es wird nicht mehr benutzt. Es arbeitete auf einer 3-cm-Wellenlänge, die für diese Zwecke denkbar schlecht geeignet ist. Wir standen letzten Endes vor der Frage, alles oder nichts. Wir haben mit der Vorstellung, daß es eigentlich möglich sein müßte, das Prinzip dieser Messung zu erforschen, mit viel Mut angefangen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft wollte natürlich bald ein Ergebnis sehen; wir haben dann in der Not versucht, mit Hilfe der sog. „Aneichung“ Ergebnisse zu erzielen, die dann doch so gut waren, daß sie am Anfang nicht geglaubt wurden. Ich habe Ihnen dieses kleine Beispiel erzählt, um zu zeigen, daß zur Forschung nicht nur viel Fleiß gehört, sondern oft auch ein Quantum Glück, um das Richtige zum richtigen Zeitpunkt zu erreichen, um beweisen zu können, daß man auf dem richtigen Weg ist.

Es gelang uns in Zusammenarbeit mit Herrn *Prof. Dr. Schultz* von der Universität Bochum – ich freue mich sehr, daß er auch heute hier anwesend ist – aufgrund dieser Radarflächenniederschlagsmessungen Hochwasservorhersagen zu erstellen. *Prof. Schultz* verglich die Ergebnisse der Abflußberechnungen, indem er einmal das normale Wetter-Niederschlagsmeßnetz, dann das Sondernetz, das wir zwecks Vergleich mit dem Radar einrichteten, und schließlich die Radarflächenniederschlagsmessung zugrundelegte. Die Berechnung mit der Radarflächenniederschlagsmessung zeigte das beste Ergebnis.

Wir konnten vor 4 Jahren der Leitung unseres Dienstes eine Studie über eine optimale Nutzung von Wetterradar-

geräten im Deutschen Wetterdienst aufgrund der bei uns gemachten Erfahrungen und Forschungen überreichen. Es soll ein Verbund werden aller Wetter-Radargeräte in der Bundesrepublik Deutschland, so daß Sie später einmal in der Lage sein werden, mit einem Knopfdruck am Fernseher genau festzustellen, wo es in der Bundesrepublik regnet und wie intensiv.

Natürlich liefen während dieser Forschungstätigkeit die Klimabeobachtungen und die synoptischen Wetterbeobachtungen auf dem Hohenpeißenberg weiter. Von Mitarbeitern des Observatoriums wurden bis heute 261 Arbeiten aus den Bereichen der dort durchgeführten Forschungen veröffentlicht, davon 113 in den letzten 10 Jahren. Wir haben versucht, auch die Klimadaten, soweit es in unseren Kräften stand, zu bearbeiten; wenn wir das überhaupt machen konnten, so ist dies, wie ich glaube, ein Hauptverdienst der besonders von mir erwähnten Augustiner Chorherrn *Schwaiger*, *Karner* und *Koch* und aller anderen ehrenamtlichen Beobachter. Für uns Angehörige des Observatoriums ist es heute eine Verpflichtung, die Beobachtungsreihe fortzusetzen, die Zweckforschung weiterzuführen, so wie *Schwaiger* bereits gesagt hat: „Laßt uns fortfahren zu beobachten, Fakten zu sammeln und dann sehen, was sich aus denselben herausfolgern läßt.“

Damit wäre eigentlich meine Schilderung der historischen Vorgänge beendet; aber ich glaube, ich muß noch einen kleinen Korrektur-Zusatz machen. Ich habe in den letzten Monaten, als es bei uns ziemlich turbulent zugeht, um die Unterlagen für die Klimadatenveröffentlichung noch rechtzeitig druckreif zu bekommen, zur Entspannung öfters aus unserer Bibliothek ein altes Buch geholt und ein bißchen darin geblättert, gelesen. Ich habe Ihnen am Anfang erzählt, daß am 1. Januar 1781 die ersten regelmäßigen Wetterbeobachtungen auf dem Hohenpeißenberg begannen. Das ist richtig, bezogen auf die 200jährige Reihe. Betrachten wir den noch länger zurückliegenden Zeitraum, so muß ich aus der Lektüre dieses Buches heute ergänzen: Die ersten regelmäßigen meteorologischen Beobachtungen auf dem Hohenpeißenberg begannen bereits am 1. November 1758 und dauerten bis Ende 1759. Es wurden damals schon Luftdruck, Lufttemperatur, Windrichtung, Windstärke, Luftfeuchte, und Wetter beobachtet und tabelliert. Die Anregung kam von dem uns bereits bekannten Juristen *J. G. von Lori* (*Kraus* 1978), die Beobachtungen ausgeführt hat der Canonikus Regularis *Antonius Wittner*, der damals auf dem Hohenpeißenberg war. Er hat diese Daten Ende 1759 der Bayerischen Akademie der Wissenschaften vorgelegt (*Westenrieder* 1784), aber er fand wenig Gegenliebe und hat deshalb die Messungen wieder eingestellt. Ich glaube deshalb, wir sollten am heutigen Tag, an dem wir die 200jährige Beobachtungsreihe feiern, auch des Chorherrn *Antonius Wittner* gedenken, der vor 222 Jahren erstmals regelmäßige Beobachtungen auf dem Hohenpeißenberg angestellt hat.

#### Literatur

*Kraus, A.*: Die naturwissenschaftliche Forschung. Forschung an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften im Zeitalter der Aufklärung. Bayer. Akad. Wiss., Philos.-Histor. Kl., Abh. - N. F. H. 82 (1978)

*Westenrieder, L.*: Geschichte der bayerischen Akademie der Wissenschaften, 1. Theil 1759–1777. München: Akad. Bucherverlag, 1784.

## Bedeutung von Radarflächenniederschlagsmessungen für die Hydrologie

(Vorgetragen von Prof. Dr. A. C. Wiin-Nielsen, Generalsekretär der Weltorganisation für Meteorologie, Genf)

Herr Präsident, Herr Dr. Attmannspacher, liebe Kollegen, meine sehr verehrten Damen und Herren!

Der jetzt folgende Vortrag hätte eigentlich nicht von mir, sondern von Herrn Dr. Nemeč, der ihn geschrieben hat, gehalten werden sollen. Da er leider nicht hier sein kann, bat er mich, ihn vorzulesen. Ich mache das sehr gern, möchte aber betonen, daß ich in der Anwendung der Wassertechnik für die Niederschlagsmessung kein Experte bin. Deshalb wäre ich auch nicht in der Lage, Fragen zu diesem Gebiet zu beantworten. Dann möchte ich auch darauf hinweisen, daß ich mich zwar bemühen will, das Manuskript in Deutsch zu lesen, aber nicht für mich in Anspruch nehmen kann, diese Sprache fließend zu sprechen. Ich muß Sie deshalb um ein wenig Nachsicht bitten, wenn ich zum ersten Mal in meinem Leben einen Vortrag in Deutsch halte.

In den häufigen Vorträgen und Vorlesungen über Hydrologie von nicht graduierten und graduierten Studenten von fünf Kontinenten versteht der Autor gewöhnlich unter dem Begriff Niederschlagsmessung die Möglichkeit der Gewinnung quantitativer Niederschlagswerte, um Wassermengen festlegen und bewirtschaften zu können. Er verläßt auch nie das Gebiet der Niederschlagsmessung ohne darauf hinzuweisen, daß die Menschen einen Weg gefunden haben, zum Mond zu fliegen und die Atmosphäre der Planeten Saturn und Jupiter zu erforschen, aber sie verwenden immer noch die gleiche Meßmethode zur Messung der Regenmenge wie zu Zeiten der chinesischen Dynastien vor 5000 Jahren; auch heute noch wird der Regen in einem Behälter gesammelt. Die Radarflächenniederschlagsmessung ist der einzige signifikante Fortschritt auf diesem Gebiet. Obgleich bereits 1904 *Hülsmeier* einige Experimente zur Bestimmung der Reflexion von elektromagnetischen Wellen durch Schiffe unternahm (*Attmannspacher* 1973), ist die Technik der Niederschlagsmessung durch Radar erst in den 50er Jahren dieses Jahrhunderts zum Tragen gekommen. Sie beruht auf dem Prinzip der Streuung und Dämpfung elektromagnetischer Wellen durch den Niederschlag in der Atmosphäre. Es erscheint mir nicht sinnvoll im Rahmen dieses Vortrages, in die Theorie des Prinzips der Radarmessung einzugehen, auch mit den entsprechenden Gleichungen möchte ich Sie verschonen. Sie sind in grundlegenden Büchern über Meteorologie und Hydrologie (z.B. *Nemeč* 1971) oder in entsprechenden WMO-Publikationen (WMO 1975) und in Spezialarbeiten enthalten, von denen nur zwei genannt seien, *Wilson* und *Brandes* 1979; *Attmannspacher* und *Schultz* 1980. Wir wollen uns hier auf die Anforderung der Benutzer dieses Meßsystems und auf seine Auswertungen, vom technischen und operationellen Standpunkt aus gesehen, konzentrieren. Die Arbeiten mit dem Radar des Meteorologischen Observatoriums Hohen-

peißenberg, einer Forschungsinstitution des Deutschen Wetterdienstes, werden dabei ihren Beitrag zu diesen Ausführungen liefern. Die grundlegenden Anforderungen der Nutzer dieser Messungen können folgendermaßen definiert werden:

1. Das Radar muß mindestens die gleiche Genauigkeit und/oder Zuverlässigkeit der Information aufweisen, wie ein heute übliches dichtes Sondernetz von Regenschreibern.
2. Das Radar muß für einen bestimmten Abnehmerkreis seine Daten ebenso schnell verwertbar liefern wie ein Netz drahtlos meldender Niederschlagsmesser.
3. Die Informationszusammenstellung muß kostenmäßig vergleichbar sein mit dem Aufwand für ein Regenmeßnetz.

Als erstes sei hier festgestellt, daß durch das Radar Niederschlagsinformationen geliefert werden, die vom klassischen Niederschlagsmeßnetz nicht erhältlich sind. Dies gilt besonders für quantitative Niederschlagsvorhersagen und für die detaillierte Verteilung des Flächenniederschlags. Beide Vorzüge machen das Radar bestens geeignet für die Regen-Niederschlagsmessung für hydrologische und wasserwirtschaftliche Zwecke. Der Nutzer muß jedoch auch hier festlegen, welche Genauigkeit der Radarmessung erforderlich ist, und wie weit der Nutzen die Kosten trägt. In der Weltorganisation für Meteorologie müssen zusätzlich zu den oben genannten technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen, die für alle Länder gelten, weitere Faktoren, die eine dominierende Rolle in der Festlegung der Benutzung von Radarmessungen in Entwicklungsländern spielen, beachtet werden. Diese Faktoren werden oft unterschätzt oder sogar übersehen, wenn Entscheidungen über die Verwendung von Radargeräten zur Niederschlagsmessung für hydrologische Zwecke in Entwicklungsländern getroffen werden müssen.

Um eine Aussage über die Genauigkeit von Radarflächenniederschlagsmessungen zu erhalten, ist eine Analyse der möglichen Fehler notwendig; diese sind (nach *Wilson u. Mitarbeiter* 1979):

1. Fehler in der Bestimmung des Radarechofaktors,
2. Änderungen in der Beziehung zwischen Niederschlagsintensität und reflektierter Radarenergie (der sog. Z/R-Beziehung),
3. Grundsätzliche Unterschiede zwischen Punkt-Niederschlags- und Radar-Niederschlagsmessung (das sog. G/R-Verhältnis).

Die Notwendigkeit der Korrektur des Radarmeßergebnisses mit Hilfe von Punktniederschlagsmessungen, die im obengenannten Punkt 3 enthalten ist, ergibt sich aus der Tatsache, daß die Z/R-Beziehung meist als konstant angenommen wird (z.B.  $Z = 200 \cdot R^{1,6}$ ), in Wirklichkeit aber nicht konstant, sondern Schwankungen ausgesetzt ist. Es gibt noch andere Fehlermöglichkeiten, die nicht mit

dem Gerät selbst in Zusammenhang stehen. Dies sind besonders die Abdeckung des Radarstrahls durch ein Festziel, die Beugung des Radarstrahls durch anormale Ausbreitungsverhältnisse elektromagnetischer Wellen, z.B. an einer kräftigen Temperaturumkehrschicht, und Abschwächung der Radarenergie durch den Niederschlag selbst; letzteres gilt jedoch in erster Linie für Wellenlängen bis etwa 3 cm. Bereits aus diesem Grund sind die Radargeräte zur Niederschlagsmessung unterschiedlich zu den heute noch vielfach eingesetzten Wetterradargeräten. Für die Niederschlagsmessung werden meistens die Wellenlängenbereiche 10 und 5 cm benutzt.

Punkt 2 und 3 der obigen Fehlermöglichkeiten können am besten durch Vergleiche zwischen Radar- und Punktniederschlagsmessungen näher betrachtet werden. Es sei hier aber ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die Punktmessung keinesfalls fehlerfrei ist und auf ihr basierende Aussagen über Flächenniederschläge bereits aufgrund der besonders bei Schauern stark variierenden horizontalen Verteilung des Niederschlags äußerst schwierig sind. Tabelle 1 zeigt das Ergebnis von derartigen Vergleichen bei 14 starken, in den USA gemessenen Regenfällen zwischen Punktniederschlagsmessung über einer Fläche von 8000 km<sup>2</sup> und Radarmessungen im Bereich zwischen 45 und 100 km Radius um den jeweiligen Radarstandort. Es standen dafür WSR-57 Radargeräte im S-Band (10 cm Wellenlänge) mit einer Hauptkeule von 2 Grad (darunter versteht man den Raumwinkel des scharf gebündelten Radarstrahls) zur Verfügung. Aus Gründen der Dämpfung und der Bündelung des Radarstrahls ist eine Flächenniederschlagsmessung generell nur bis maximal 150 km möglich. Nicht zuletzt ist dies eine Frage der geographischen Breite, der Höhe der Nullgradgrenze in der freien Atmosphäre und der bereits genannten Bündelung der Radarhauptkeule. Am Observatorium Hohenpeißenberg wird deshalb diese Grenze bereits bei 100 km gesetzt. Außerhalb dieser Entfernung werden die Ergebnisse besser als qualitative denn als quantitative Niederschlagsmessung bezeichnet. Die Tabelle zeigt, daß das Verhältnis zwischen Niederschlagsmesser und Radarergebnis zwischen 0,41 (das Radar überschätzt) und 2,41 (das Radar unterschätzt) liegen.

In Amerika (Wilson 1970) und in der Bundesrepublik Deutschland (Attmannspacher u. Mitarbeiter 1970) wurden Untersuchungen über mögliche Verbesserungen ausgeführt, um die auftretenden Änderungen der Z/R-Beziehung von einem Niederschlagsereignis zum anderen, zum Teil auch innerhalb eines Niederschlagsereignisses zu korrigieren, indem die Radarmessung regelmäßig mit Hilfe eines Punktniederschlagsmessers verglichen und angeeicht wurde. Diese Verbesserungen verringern den Fehler (nach Wilson und Brandes, 1979, auf die Hälfte von 43–55, auf 17–35 %). Ohne derartige „Aneichung“ kann angenommen werden, daß Radarergebnisse in etwa 75 % der Meßzeit innerhalb des Faktors zwei, verglichen mit dem sogenannten wahren Niederschlag, der nur geschätzt werden kann, liegen.

Die zuletzt genannten Ergebnisse beziehen sich auf die in Amerika angestellten Untersuchungen, bei denen das Niederschlagsnetz des amerikanischen Wetterdienstes mit etwa 1000–2000 km<sup>2</sup> Fläche pro Punktmessung zur Verfügung stand. Für ein dichteres Niederschlagsmeßnetz (250–400 km<sup>2</sup> pro Niederschlagsmeßgerät) fanden die amerikanischen Forscher etwa gleiche Genauigkeit wie bei

Tab. 1: Quotient zwischen Radar- (R) und Regenmesser-Ergebnissen (G) von 14 Starkniederschlägen (nach Wilson u. Brandes)

Datum	Zahl der Regenmesser	Niederschlags-Dauer (Std.)	$\bar{G}$ (mm)	$\bar{G}/\bar{R}$
28. April 1974	21	7	11	1.62
29. April 1974	20	12	7	0.82
29. April 1974	21	5	22	2.23
01. Mai 1974	21	9	24	2.41
20. Mai 1974	12	7	15	0.68
21. Mai 1974	10	3	5	0.59
23. Mai 1974	5	2	3	0.64
25. Mai 1974	22	6	25	0.91
25. Mai 1974	12	5	23	0.88
30. Mai 1974	22	7	25	1.09
03. Juni 1974	15	5	7	0.41
06. Juni 1974	13	2	16	0.68
08. Juni 1974	10	5	31	0.49
07. April 1975	19	4	14	1.13

der Radarmessung des Flächenniederschlags. Davon abweichende Ergebnisse wurden auf dem Hohenpeißenberg (Attmannspacher u. Mitarbeiter 1977) erhalten. Das auf diesem Berg benutzte C-Band-Radar (5.7 cm Wellenlänge, Hauptkeule 1° Raumwinkel) ist bis auf das Magnetron volltransistorisiert, es hat einen digitalen Video-Integrator und Prozessor und ist direkt mit einer kleinen Rechenanlage verbunden. Eine mittlere, für Oberbayern bestimmte Z/R-Beziehung wird benutzt ( $Z = 291 \cdot R^{1,34}$ ), die Grundmeßzeit ist 1 Minute (Umlaufzeit der Radarantenne), die Niederschlagswerte werden am Schluß des Niederschlagsereignisses oder alle 2–1 Stunden bestimmt, diese sogenannten Rohdaten anschließend durch die dort entwickelte Aneichmethode verbessert. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel eines derartigen Vergleichs zwischen Radar und Punktmessung am Boden. Einen Vergleich von 219 punktförmigen Messungen am Boden mit Regenschreibern und dem darüber gemessenen Radarmesswert zeigt Tabelle 2. Die Niederschlagsmengen sind dabei in Klassen eingeteilt. 68 % aller Vergleichsfälle liegen in der gleichen Klasse, bei 32 % beträgt der Unterschied eine, bei einem Fall (0,45 %) 2 Klassen. Betrachtet man die Einzelwerte ohne Klasseneinteilung, so zeigen 43 % davon eine Differenz zwischen Radar- und Regenschreiber bis zu  $\pm 10\%$ ; 84 % stimmen bis auf  $\pm 20\%$  (ohne Rücksicht auf die absolute Höhe des Meßwertes, d.h. bei 1,0 mm Niederschlag weist ein Meßwert von 1,2 mm bereits einen „Fehler“ von 20 % auf) überein. Für die Gesamtsumme von allen 27 Fällen an jedem Meßort beträgt diese Differenz nur  $\pm 5\%$ . Die Arbeiten auf dem Hohenpeißenberg galten auch dem Problem des zeitlich optimalen Umlaufs der Radarantenne, dem Einfluß der Höhe der Nullgradgrenze im Meßbereich, der Abdeckung des Radarstrahls durch Festziele, der Abschwächung der Radarenergie durch den Niederschlag selbst und der Relation zwischen der Z/R-Beziehung und einfachen Niederschlagstypen, um möglichst wirklichkeitsnahe Radarrohmeßdaten zu erhalten; es kann ja der Aneichregenmesser, ein Ombrometer, ausfallen oder – bei Schauerlagen – keinen Niederschlag erhalten haben. Am interessantesten vom hydrologischen Standpunkt aus gesehen ist schließlich das auf dem Hohenpeißenberg erhaltene Ergebnis von Hochwasservorhersagen aufgrund der

Tab. 2: Vergleich der Niederschlagsmengen (Einzelniederschläge  $\geq 1$  mm) von Regenschreibern (Rs) und entsprechenden Radarmeßergebnissen (Ra)

mm (Kl <sub>Rs</sub> )	Kl <sub>Ra</sub>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.0–1.5	1	15	4					
1.6–2.4	2		17	6				
2.5–3.9	3		8	21	7	1		
4.0–6.2	4			4	30	7		
6.3–9.9	5				7	28	13	
10.0–15.9	6					3	27	6
16.0–24.9	7						3	6
25.0–39.9	8							1
								5

27 Radarauswertungen der Meßsaison 1976 (Zahl der Fälle)

Niederschlagsmessung mit Hilfe des erwähnten Sondermeßnetzes, des normalen Wetterdienst-Niederschlagsmeßnetzes und der Radarmeßdaten.

Abbildung 2 gibt die unterschiedlichen Abflußkurven, berechnet auf der Basis einer Radarflächenniederschlagsmessung, eines Niederschlagsschreibermeßnetzes mit einer Dichte von 20 km<sup>2</sup> pro Niederschlagsschreiber und eines solchen mit einer Dichte von 110 km<sup>2</sup> pro Niederschlagsmesser wieder. Die Autoren (*Anderl, Attmannspacher u. Schultz 1976*) dieser Studie zeigen, daß die Genauigkeit der Hochwasservorhersage aufgrund der Radarmessung und des dichten Bodenmeßnetzes (20 km<sup>2</sup> pro Regenschreiber) brauchbar ist. Das Ergebnis aufgrund des Netzes mit einem Niederschlagsmesser auf 110 km<sup>2</sup> war dies nicht.

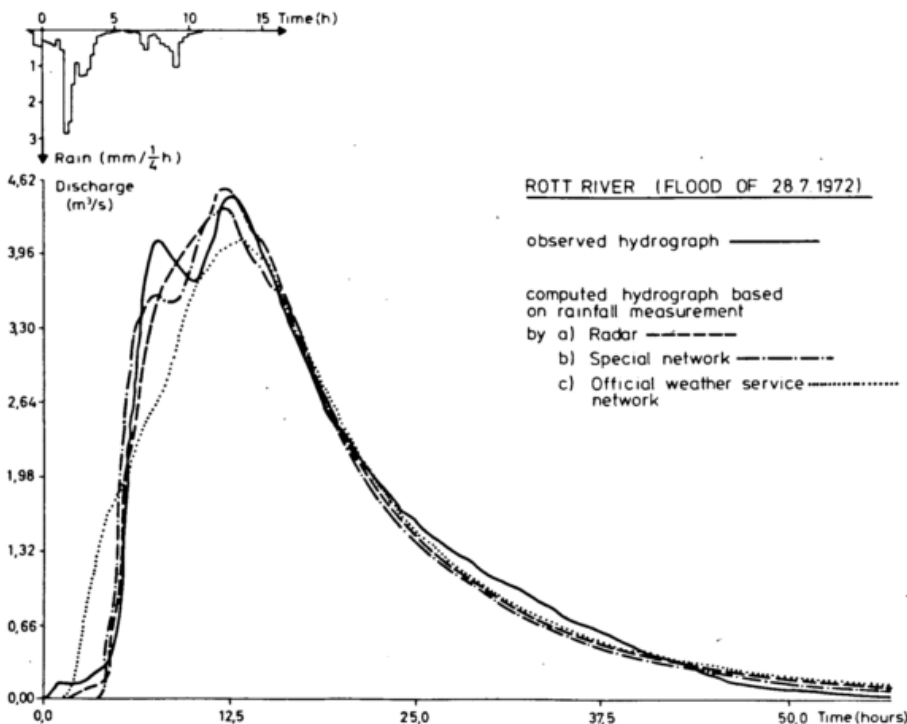


Abb. 2: Beobachteter und berechneter Hochwasserablauf an der Rott

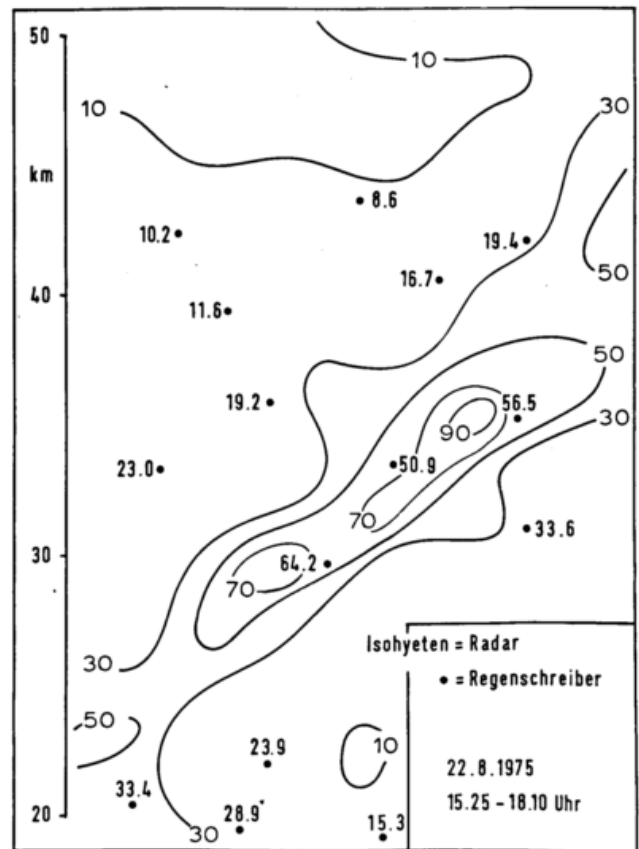


Abb. 1: Vergleich Radarmessung und Punktmessung am Boden.

Hier ist ersichtlich ein markanter Unterschied zwischen den Ergebnissen in den USA und denen am Hohenpeißenberg bezüglich der erforderlichen Bodenmeßnetzdicke für ausreichend genaue Abflußdaten im Vergleich zum Radar. Die Orographie des Einzugsgebietes, letzteres ist um den Hohenpeißenberg sehr hügelig, kann wahrscheinlich zumindest einen Teil dieses Unterschiedes erklären; der Mittelwesten der Vereinigten Staaten ist dagegen ein insgesamt ein recht flaches Land. Eine noch bessere Erklärung könnte gegeben werden, wenn ausreichende Informationsdaten über Umlaufzeit und Meßraum von beiden Radarmessungen zur Verfügung stünden. Eine große Rolle spielen bei diesen unterschiedlichen Ergebnissen sicher die halb so große Radarahauptkeule des Hohenpeißenberger Gerätes und die Tatsache, daß das WSR-57 Radar als alte, mit Elektronenröhren bestückte Anlage elektronisch weit weniger stabil ist. Ein Regenmeßnetz mit 20 km<sup>2</sup> Dichte, das auch nach Untersuchungen eines englischen Forschungsteams (*Collier u. Mitarbeiter 1975*) für eine ausreichend genaue Erfassung von schauerartigen Niederschlägen erforderlich ist, kann praktisch nicht realisiert werden. Auf der anderen Seite ist jenes Netz von Amerika mit 250 bis 400 km<sup>2</sup> in Europa keine Seltenheit. Die hier angestellten Gegenüberstellungen zeigen bereits, daß Schlußfolgerungen aus einem Vergleich zwischen Punkt-Niederschlagsmessungen und Radar-Flächenniederschlagsmessungen sehr kritisch betrachtet werden müssen, und daß sie sicher nicht, selbst bei gleichem Gerät, auf eine andere Gegend übertragen werden können, es sei denn ihr orographischer Aufbau ist ähnlich.

Der Wetterdienst der Vereinigten Staaten ist zur Zeit stark an einem Projekt engagiert, das sich „Hydrological Rainfall Analysis Project“ (HRAP) nennt. Die Aufgabenstellung dabei ist die Entwicklung objektiver Techniken für die Verarbeitung, Qualitätskontrolle und optimale Zusammensetzung von Radarflächenniederschlagsdaten mehrerer Wetterradargeräte, sowie Punktregenmeßgeräten und zusätzlich von Satellitenmeßergebnissen in einem komplexen Grunddatensystem. Ziel dieses Forschungsprojektes ist die Verbesserung von Abflußvorhersagen, die vom amerikanischen Flußvorhersagezentrum gegeben werden. Außerdem soll damit die Herausgabe besserer Warnungen bei plötzlich auftretenden Fluten erreicht werden. Am Anfang wird dieses Projekt auf ein Gitternetz von 5 km begrenzt und nur für den Bereich Gültigkeit haben, in dem bereits Radargeräte vorhanden sind (*Greene, Hudlow, Farnsworth 1979*). Ein ähnliches Vorhaben ist auch in der Bundesrepublik Deutschland geplant, wie dies aus einer Arbeit von *Attmannspacher und Riedl (1979)* hervorgeht, aus der die Abbildung 3 entnommen ist. In ihr sind die quantitativen Meßbereiche der jeweiligen Radarstandorte gestrichelt, die qualitativen Bereiche ausgezogen umrandet. Bereits erstere bedecken weitgehend das Gebiet der Bundesrepublik.

Aus dem bisher Gesagten folgt, daß die für den hydrologischen Aufgabenbereich wichtige Nutzung von Radargeräten zur Messung von Flächenniederschlag in Entwicklungsländern äußerst kompliziert ist. Dies sei an einem gegenwärtig abgeschlossenen Projekt der Weltorganisation für Meteorologie in Pakistan demonstriert. Das dort benutzte Radar ist das gleiche wie jenes auf dem Hohenpeißenberg. Schon vor dem eigentlichen Beginn erwies sich die Installierung des Gerätes als äußerst schwierig. Transportprobleme, z.B. Beschädigung wichtiger Teile, zwingen oft dazu, den Betrieb der Anlage um viele Monate zu ver-

schieben. Bei der Wartung des Gerätes treten erneut große Schwierigkeiten auf, da fehlende Ersatzteile über eine längere Zeit das Radar betriebsunfähig machen können und jegliche Art von Messung ausschließen. Am Gerät selbst sind Störungen durch Staub und Hitze möglich, es scheint zudem äußerst schwierig zu sein, unqualifizierte Anwesende aus dem Radarraum herauszubekommen.

Die Anforderungen an die Genauigkeit der Daten sind in den einzelnen Entwicklungsländern äußerst unterschiedlich. Z.B. können Pegelmessungen besonders bei Hochwasser, die als Grundlage für Eich- und Vorhersagemodelle dienen oder zur Verbesserung der Vorhersage heute benutzt werden, sehr fehlerhaft sein; Fehler mit dem Faktor 2 oder 3 sind durchaus möglich. Unter derartigen schwierigen Verhältnissen verliert zwangsläufig die vorher gezeigte Abbildung 3 ihren Aussagewert, da bereits das aufgetretene Hochwasser nicht mehr ausreichend genau erfaßt sein kann.

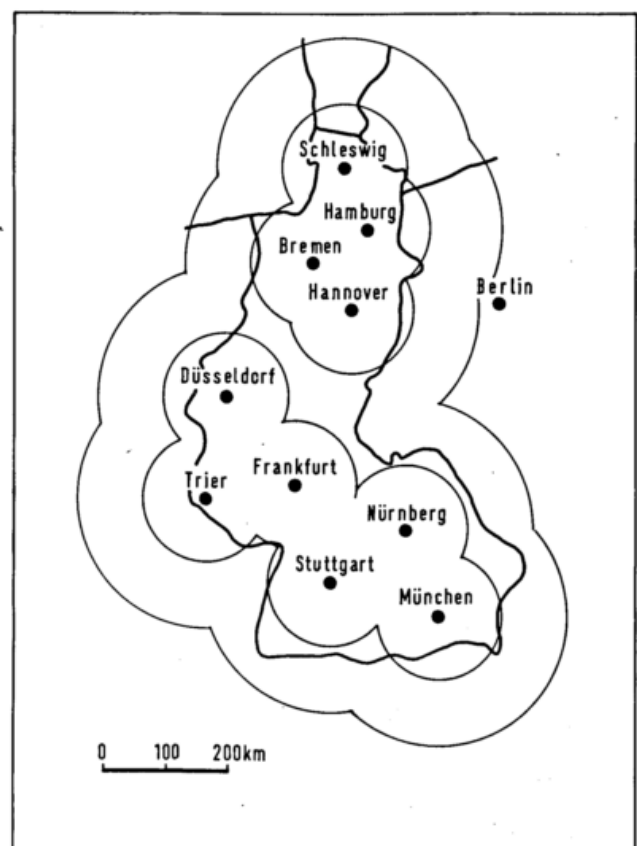


Abb. 3: Radarstandorte für das geplante Radarnetz der Bundesrepublik Deutschland

Aufgrund der eben gemachten Feststellung erscheint es zweckmäßig, Radarflächenniederschlagsmessungen in Entwicklungsländern nur einzusetzen, wenn mindestens einer der am Anfang genannten grundsätzlichen Vorzüge der Radarmessung, besonders die Möglichkeit der quantitativen Vorhersage, benötigt wird. Dies gilt natürlich besonders in Küstengegenden, wo die Installationen von Punktmessungen am Meer praktisch ausgeschlossen sind. Die Möglichkeit, Messungen aus unzugänglichen Teilen eines Einzugsgebietes eines Flusses zu erhalten ist ebenfalls ein wichtiger Grund für Radarmessungen. Die WMO-Pro-

jekte installieren z.Zt. Radargeräte zur Flächenniederschlagsmessung in vielen Ländern Asiens. Es wird eine äußerst interessante Tätigkeit sein, in diesen Ländern statistisch festzulegen, wie langlebig derartige Installationen im Vergleich zu Punktniederschlagsmeßnetzen sind.

Die künftigen Wege der Projekte in den USA, in der Bundesrepublik Deutschland und anderen europäischen Ländern, wie z.B. in der Schweiz (Joss 1978) und in England (Browning 1981) sind sicher sehr lohnend für die Verbesserung der Kurzfristvorhersage, sie ermöglichen in diesen Ländern Grundlagen für bessere Hochwasservorhersagen und können so von großem Nutzen sein. Leider lassen sich die gewonnenen Kenntnisse nicht ohne weiteres mechanisch auf Drittländer übertragen, in denen andere klimatische, orographische und auch ökonomische Verhältnisse herrschen, die weniger geeignet sind für Radarflächenniederschlagsmessungen.

#### Literatur

- Anderl, B.; Attmannspacher, W.; Schultz, G. A.: Accuracy of reservoir inflow forecasts based on radar rainfall measurements. *Water Resources Res.* 29 (1976)
- Attmannspacher, W.: Grundsätzliche Probleme und Möglichkeiten der quantitativen Flächenniederschlagsmessung mittels Radar. *Ann. d. Meteorol. N.F. Nr. 6* (1973).
- Attmannspacher, W.; Riedl, J.: Radar area precipitation measurement as basic data for hydrological purposes. *Papers of Radar Workshop, Edmonton, Canada* (1979).
- Attmannspacher, W.; Schultz, G. A.: Möglichkeiten und potentieller Nutzen eines bundesdeutschen Niederschlagsradarverbundsystems. *Wasserwirtschaft, September-Heft 1980.*

Prof. Dr. Hans-Ulrich Dütsch

Direktor des Laboratoriums für Atmosphärenphysik der ETH Zürich

## Die Ozonschicht der Atmosphäre, ihre Erforschung und ihre Bedeutung

Meine Damen und Herren,

ein anderer Bereich, in dem die Arbeiten aus dem Observatorium Hohenpeißenberg Weltgeltung erreicht haben, ist die Ozonforschung. Offenbar hatte Herr Attmannspacher, der Mitte der 60er Jahre diese Messungen und Untersuchungen einleitete, gewissermaßen einen 6. Sinn; denn damals hatte die Ozonforschung noch keineswegs den heutigen Stellenwert. Sie war, wenn nicht gerade das Hobby, so doch das Arbeitsgebiet einer nur relativ kleinen Anzahl von Wissenschaftlern, die als sogenannter Ozonklub bekannt waren.

Die Ansichten über die Ozonschicht basierten damals noch auf Chapman's photochemischer Theorie aus dem Jahre 1930 (Abb. 1), die von bestechender Einfachheit war, und mit nur 4 Reaktionen die Eigenschaften des Ozons in der hohen Atmosphäre recht gut darstellen konnte: Primär zerlegt die Photodissoziation das Sauerstoffmolekül in zwei Sauerstoffatome; sie ist gefolgt von der Ozonbildung

Attmannspacher, W.; Aniol, R.; Riedl, J.: Arbeiten zur Verbesserung der Niederschlagsmessung. 1. Fortbildungstag Meteorol. Ges. München (1970) S. 25–42.

Attmannspacher, W.; Aniol, R.; Hartmannsgruber, R.; Riedl, J.: Automatische Flächenniederschlagsmessung mit einem C-Band-Radar. *Ann. d. Meteorol. N.F. Nr. 12* (1977).

Browning, K. A.: Maximizing the usefulness of rainfall data from radars. *Proc. COST 72 Workshop/Seminar on Radar, Shinefield Park, Reading, UK* (1981) S. 32–50.

Collier, C. G.; Harrold, T. W.; Nicholass, C. A.: A comparison of areal rainfall as measured by a rain gauge calibrated radar system and rain gauge network of various densities. *Proc. 16th Radar Meteorol. Conference, Texas, USA* (1975).

Greene, D. R.; Hudlow, M. D.; Farnsworth, R. K.: A multiple sensor rainfall analysis system. *Third Conference on Hydrometeorology, AMS, Boston* (1979).

Joss, J.: Erfassung von Wetterradardaten in der Schweiz. *Arbeitsber. Schweiz. Meteorol. Zentralanst. Nr. 79* (1978).

Nemec, J.: *Engineering hydrology.* London-New York: McGraw Hill & Co. (1971)

Wilson, J. W.: Integration of radar and rain gauge data for improved rainfall measurements. *J. Appl. Meteorol.* (1970) S. 479–497.

Wilson, J. W.; Brandes, A. E.: Radar measurement of rainfall – A summary. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 60 (1979) No. 9.

World Meteorological Organization: *Guide to hydrological practices.* WMO-No. 178 (1975).

im Dreierstoß; das Ozonmolekül wird seinerseits durch Photodissoziation wieder aufgespalten, durch den Dreierstoß aber zurückgebildet. Die endgültige Zerstörung des Ozons, genauer gesagt, der ungeraden Sauerstoffteilchen O und O<sub>3</sub>, erfolgt erst durch die direkte Reaktion zwischen O und O<sub>3</sub>. Wir haben also zwei Kreisprozesse, einen zwischen den ungeraden Sauerstoffteilchen, der sehr rasch abläuft (a in Abb. 1) und einen zweiten, der ungerade Sauerstoffteilchen bildet und zerstört (b in Abb. 1) und relativ langsam vor sich geht. Deshalb kann man die beiden auf einfache Weise zu einer Formel zusammenfassen, die uns die Ozonverteilung in der Atmosphäre gibt.

Die merkwürdige vertikale Verteilung des Ozons in der Atmosphäre wurde durch diese einfache Theorie recht gut dargestellt. Was zunächst weniger gut zu funktionieren schien, war die Berechnung des Jahresganges des Gesamt-ozons wie auch die seiner Breitenabhängigkeit. Sie sehen in Abbildung 2, daß Beobachtung und Theorie in Bezug

auf die Breitenabhängigkeit direkt gegenläufig sind, und daß beim Jahresgang eine recht beträchtliche Phasenverschiebung auftritt. Gerade aus diesem Gegensatz erwuchs aber das primäre Interesse am Ozon in jener Zeit. Es konnte nämlich gezeigt werden, daß diese Diskrepanzen mit der Einstellzeit des Gleichgewichts zusammenhängen, die durch die Geschwindigkeit von Ozonbildung resp. -zerstörung (Reaktion b in Abb. 1) bestimmt wird. Diese Relaxationszeit nimmt von oben nach unten sehr stark zu; während an der Stratopause, in 50 km Höhe, in ungefähr einer Stunde sich ein Gleichgewicht einstellt (Abb. 3), dauert dies im Bereich des Ozonmaximums in etwa 25 km Höhe zwischen einem Monat und einem Jahr, in der unteren Stratosphäre ein Jahr und mehr. Wir können damit in dieser Höhe kein photochemisches Gleichgewicht mehr erwarten, vielmehr spielen die Transportvorgänge durch die allgemeine Zirkulation in der Stratosphäre eine dominierende Rolle; der Gegensatz zwischen Beobachtungen und reiner photochemischer Theorie wird durch diese Transportvorgänge bestimmt.

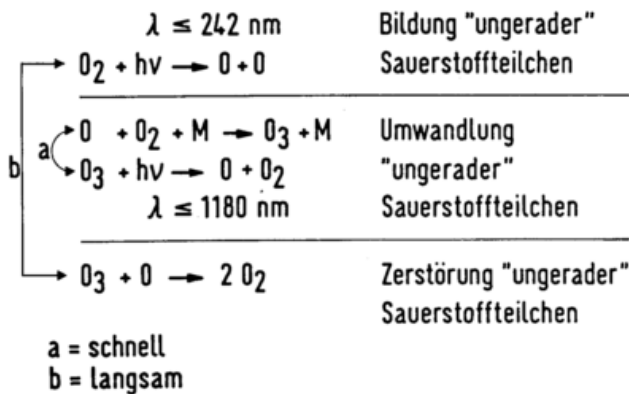


Abb. 1: Die Reaktionen der klassischen Photochemischen Theorie.

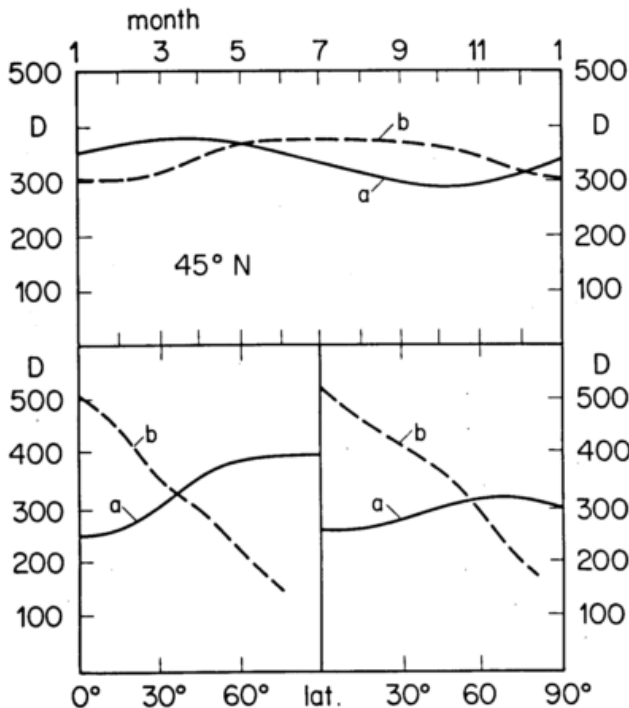


Abb. 2: Gegensatz zwischen Theorie (---) und Beobachtung (—) in Bezug auf den atmosphärischen Gesamtzongehalt, oben Jahresgang in 45° Breite, unten Breitenabhängigkeit.

In den frühen 60er Jahren war man gerade zu einer guten Kenntnis der allgemeinen Zirkulation in der Stratosphäre gekommen: Winterlichen Westwinden standen sommerliche Ostwinde gegenüber. Die verbesserten Beobachtungsreihen, die im Geophysikalischen Jahr kulminierten, hatten aber einige diesem einfachen Schema überlagerte Merkwürdigkeiten aufgezeigt, z.B. eine quasi-zweijährige Schwankung der tropischen stratosphärischen Zirkulation und das Phänomen der plötzlichen Stratosphärenwärmungen, bei denen in wenigen Tagen eine völlige Umstellung der Zirkulation in der Stratosphäre erfolgen kann. Es ging jetzt darum zu einem besseren Verständnis dieser Vorgänge zu kommen; das Ozon, das ja wegen der erwähnten Transportbeeinflussung offenbar als Tracer benutzt werden konnte, sollte zu solchen Untersuchungen gebraucht werden.

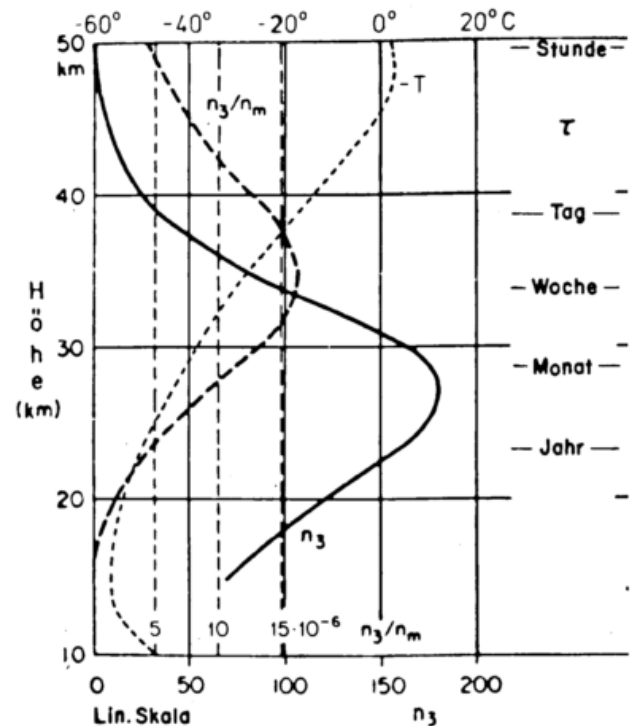


Abb. 3: Vertikale Verteilung des Ozons aus der photochemischen Theorie (45° Breite, Sommer) und Höhenabhängigkeit der Relaxationszeit.

Die damaligen Ansichten waren (nach Abb. 4) ungefähr folgende: Die eigentliche Ozonbildung findet in einer Quellregion über den Tropen statt, zwischen etwa 25 und 30 bis 35 km Höhe. Von dort wird das Spurengas in die winterliche Stratosphäre transportiert, also polwärts und gleichzeitig auch abwärts, was zu dem beobachteten Frühlingsmaximum führt. Das Ozon bricht dann in einzelnen Schüben in die Troposphäre durch und wird am Boden zerstört. In der sommerlichen Stratosphäre, die eine ganz andere, viel gleichmäßigere Zirkulation aufweist, hört dieser meridionale Transport auf; der Übertritt in die Troposphäre geht aber weiter, und damit verschwindet langsam der im Winter aufgebaute Ozonüberschuß, zu einer Zeit, in der man vom rein photochemischen Standpunkt aus einen Anstieg erwarten würde. Der Mechanismus des Transportvorgangs war hingegen noch nicht bekannt; der Transport konnte durch eine meridionale Zirkulation be-

wirkt werden, wie bereits *Brewer* und *Dobson* (1946) dies angenommen hatten, oder er konnte Folge des Großaustausches sein, wie die Forscher zuerst vorschlugen, die sich mit den noch unvollständigen Daten über Radioaktivität beschäftigten; eine Überlagerung, ein Zusammenwirken dieser beiden Prozesse war aber ebenfalls denkbar.

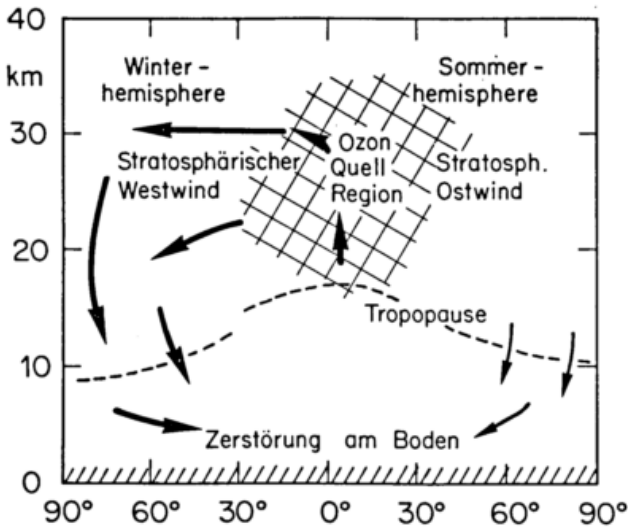


Abb. 4: Schema des Ozontransportes.

Das waren die Feststellungen, die Mitte der 60er Jahre bestanden. Es ist deshalb nicht überraschend, daß dem ersten europäischen Meßnetz, das damals aufgebaut wurde, neben dem Observatorium Hohenpeißenberg und unserer schweizerischen Station, das Meteorologische Institut der Freien Universität Berlin und das Institut Royal Météorologique in Brüssel angehörten, deren Leiter *Scherhag* und *van Mieghem* speziell an solchen Vorgängen interessiert waren.

Ozon als Tracer stand also damals im Vordergrund des Interesses; weniger beschäftigte man sich z.B. mit der biologisch bedeutenden Abschirmung des UV-Sonnenlichtes, diese wurde gewissermaßen als gottgegeben angenommen. Denn nach dem damaligen Verständnis wurde Ozon durch Vorgänge gebildet und auch wieder vernichtet, bei denen nur permanente Bestandteile der Atmosphäre beteiligt waren; es schien also der menschlichen Unvernunft entrückt. Dagegen beschäftigte man sich auch damals mit der Frage der Erwärmung des oberen Teils der Ozonschicht durch die Absorption von UV-Licht und mit den damit verbundenen dynamischen Prozessen.

Die Bedeutung auch von Einzelaufstiegen im europäischen Ozonmeßnetz wird in Abbildungen 5 und 6 an zwei Beispielen von gleichzeitigen Beobachtungen in Payerne und Hohenpeißenberg gezeigt. Im ersten (Abb. 5) wiederholen sich selbst kleine Details der vertikalen Verteilung in der unteren Stratosphäre fast identisch noch auf diese Distanz. Im 10-mb-Niveau sehen wir an beiden Orten die Auswirkung der plötzlichen Stratosphärenerwärmung im Januar 1979. Die Übereinstimmung ist aber bei weitem nicht immer so gut (Abb. 6), was uns zeigt, daß wir wenigstens in gewissen Gebieten auch ein recht engmaschiges Ozonnetz brauchen, wenn wir diese Transportvorgänge wirklich verstehen wollen. Ich glaube aus dem Beobachtungsmaterial der beiden Stationen wird sich noch recht viel über die kleinräumigen Prozesse in der

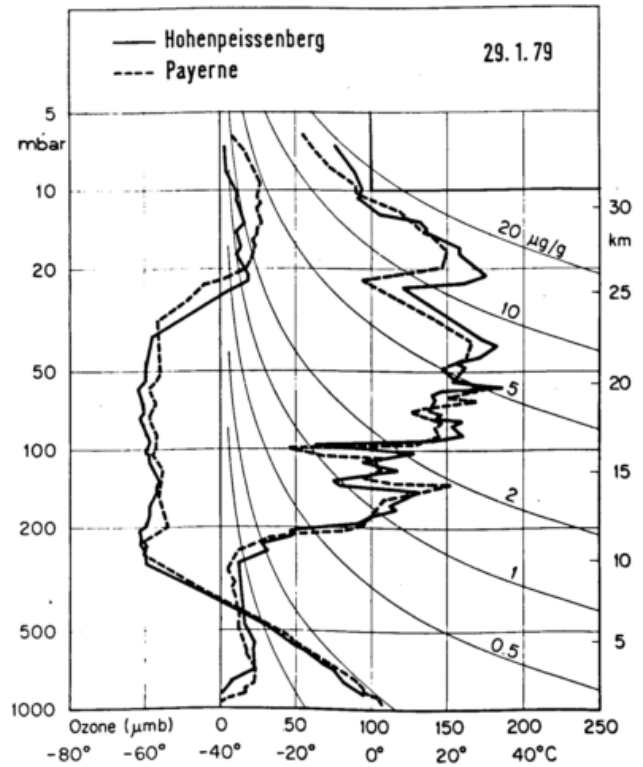


Abb. 5: Gleichzeitige Sondierungen in Hohenpeißenberg und Payerne (Schweiz).

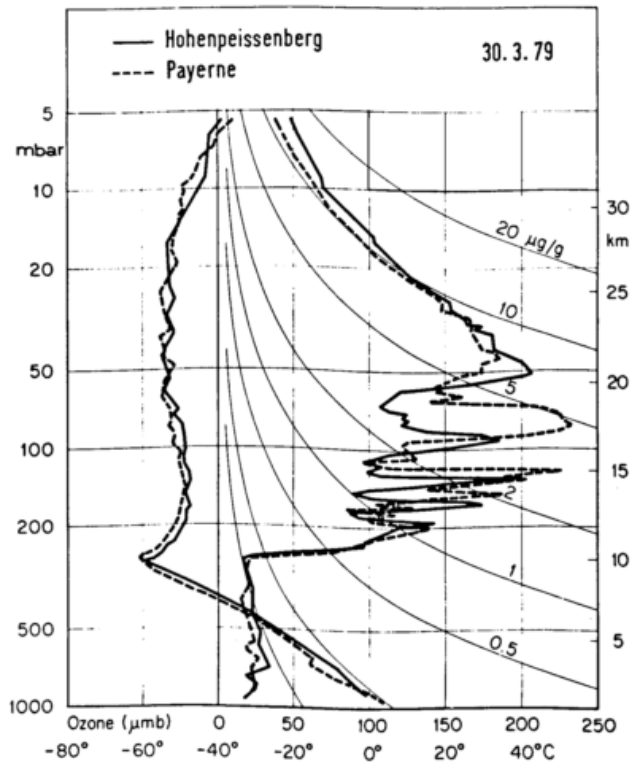


Abb. 6: Gleichzeitige Sondierungen in Hohenpeißenberg und Payerne (Schweiz).

Stratosphäre herausholen lassen, die wir letzten Endes auch kennen müssen, wenn wir zu einem vollen Verständnis der Transportvorgänge kommen, d.h. den richtigen Gebrauch von Ozon als Tracer machen wollen.

Inzwischen, gerade ungefähr in dem Moment, als man sich hier am Hohenpeißenberg und anderswo in Europa mit der Ozonmessung eingehend zu beschäftigen begann, hatte ein Prozeß eingesetzt, der in den letzten 15 Jahren unser Verständnis der Ozonschicht völlig auf den Kopf gestellt hat, und der das Ozon von einem wenig bekannten Arbeitsgebiet einiger Spezialisten in die Tagespresse gebracht hat. 1965 hatte *Hampson* festgestellt, daß die angeregten Sauerstoffatome, die entstehen, wenn die Ozonphotodissoziation durch Wellenlängen  $< 310$  nm erfolgt, wegen ihres größeren Energiegehalts die Möglichkeit besitzen, relativ stabile Moleküle wie z.B. Wasser aufzuspalten. An diese Beobachtung knüpfte sich bald ein ganzer Rattenschwanz ähnlicher Feststellungen. Ich will Sie nicht mit der Darstellung der über hundert Reaktionen, welche heute die Ozonphotochemie charakterisieren, und von denen mindestens 50 wirklich von Bedeutung sind, langweilen; ich möchte nur versuchen, Ihnen das Ozon ganz kurz als zentrale Substanz eines recht komplex gewordenen stratosphärischen Spurenstoffsystems darzustellen.

Wie erwähnt, haben die angeregten Sauerstoffatome, die durch die Entdeckung *Hampsons* neben Ozon und gewöhnlichen Sauerstoffatomen getreten waren, die Möglichkeit, stabile in der Atmosphäre vorkommende Verbindungen, die man sonst eigentlich als inert bezeichnen würde, aufzuspalten (Abb. 7), so z.B. Wasser, Stickoxidul, Wasserstoff und einige andere mehr. Andere quasi-inerte Moleküle wie Methan oder wasserstoffhaltige organische

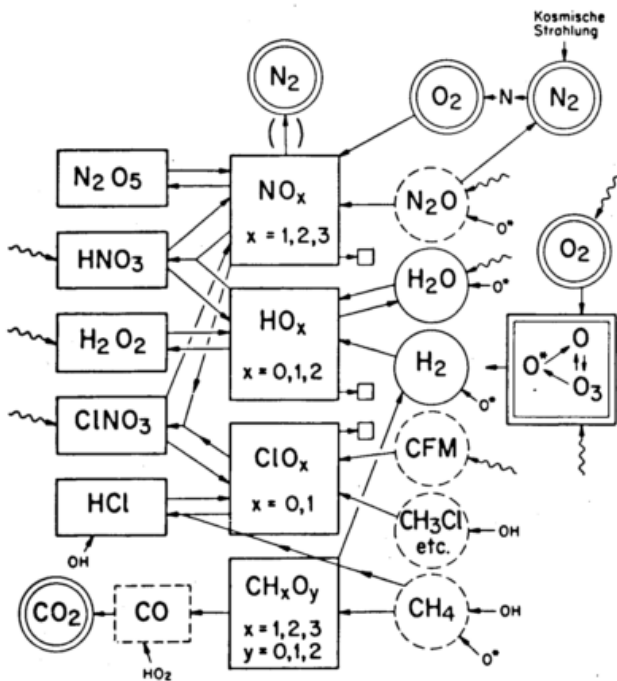


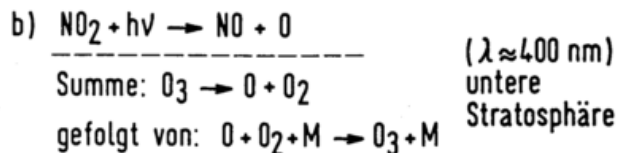
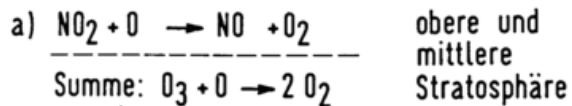
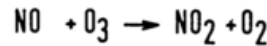
Abb. 7: Spurenstoffgruppen der modernen Ozonphotochemie.

□ ungerade Sauerstoffteilchen, ● permanente Atmosphärenbestandteile, ○ quasi inerte Moleküle, □ Radikale, □ reaktive Moleküle.

Chlorverbindungen (z.B. Methylchlorid) werden durch Folgeprodukte der bereits erwähnten Spaltungsvorgänge, vor allem durch das OH-Radikal, zerstört. Weitere Substanzen schließlich, wie die berüchtigten Chlorfluormethanverbindungen, meistens unter dem Markennamen Freon bekannt, werden durch UV-Strahlung, und zwar nur in der Stratosphäre aufgespalten; es geschieht dies nämlich durch genau dieselben Wellenlängen, die Ozon erzeugen und dabei bereits in der Stratosphäre vollständig absorbiert werden.

Aus anscheinend harmlosen Substanzen entstehen durch diese Vorgänge Produkte von außerordentlicher Reaktivität, nämlich Radikale. Diese haben die Eigenschaft durch katalytische Kreisprozesse den Ozonabbau oder genauer die Rückführung ungerader Sauerstoffteilchen (O und O<sub>3</sub>), in gewöhnlichen Sauerstoff zu beschleunigen (Abb. 8). Es hat sich in der Zwischenzeit gezeigt, daß diese Reaktionen etwa 80–90 % des Abbaues von Ozon bewerkstelligen, gegenüber nur 10–20 % durch die direkte Reaktion O und O<sub>3</sub>, wie sie seinerzeit von *Chapman* angegeben worden ist. Die Bildung der ozonwirksamen Radikale ist, wie Abbildung 7 zeigt, wesentlich an das Vorhandensein von Ozon und von relativ stabilen Verbindungen geknüpft. Zum Teil werden die Radikale wieder in ihre Ausgangssubstanzen zurückgeführt; dies gilt für HO<sub>x</sub> (OH, H und HO<sub>2</sub>), hingegen ist dies bei NO<sub>x</sub> und ClO<sub>x</sub> nicht der Fall. Wir kennen trotz der Reaktivität dieser Verbindungen, keine Reaktionen, die NO<sub>x</sub> und ClO<sub>x</sub> wieder endgültig aus der Stratosphäre beseitigen würden (abgesehen von der

#### NO<sub>x</sub>



#### ClO<sub>x</sub>

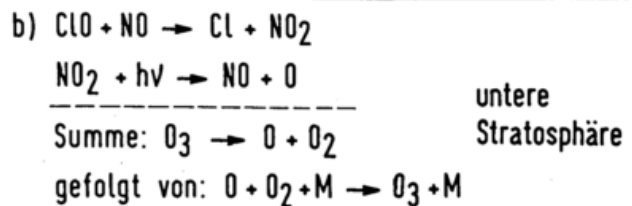
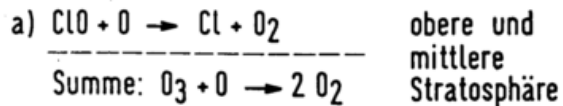


Abb. 8: Beispiele für katalytische Ozonzerstörung durch Radikalgruppen.

Photodissoziation von NO im obersten Teil der Stratosphäre). Diese Radikale, die laufend gebildet werden, können sich also in der Stratosphäre anhäufen, wobei ihre Zerstörungswirkung auf das Ozon natürlich proportional zu ihrer Konzentration steigt.

Zwar gibt es Reaktionen, welche die Radikale wieder in Moleküle zurückführen, die allerdings noch recht reaktiv sind, und deren Vorkommen in der Atmosphäre man nicht ohne weiteres erwarten würde, wie z.B. Salpetersäure und Salzsäure oder Wasserstoffsuperoxid usw. Diese Überführung ist aber nicht permanent, sie ist gefolgt von einer Rückwandlung in die Radikale, und hat damit einzig und allein zur Folge, daß ein gewisser Prozentsatz der entstandenen Radikale in einer Form, die nicht ozonaktiv ist, gewissermaßen gespeichert, d.h. für den Moment aus dem Verkehr gezogen wird, was eine entsprechende Verminderung der Ozonzerstörung bedeutet.

Wie kann nun die Natur die ständig gebildeten reaktiven Substanzen wieder aus der Stratosphäre entfernen? Dies kann nur durch Transportprozesse geschehen. Die Transportvorgänge, die schon ursprünglich zu dem Interesse des Meteorologen am Ozon geführt haben, erhalten in der modernen Theorie ein zusätzliches Gewicht; nicht nur Ozon wird durch die stratosphärische Zirkulation verfrachtet, sondern auch alle anderen Spurengase. Die meisten Ausgangsstoffe für die erwähnten Radikale, d.h. die quasi-inerten Verbindungen, stammen von der Erdoberfläche (Abb. 9). Sie können nur durch einen langwierigen Transportprozeß in die Stratosphäre gelangen, wo sie

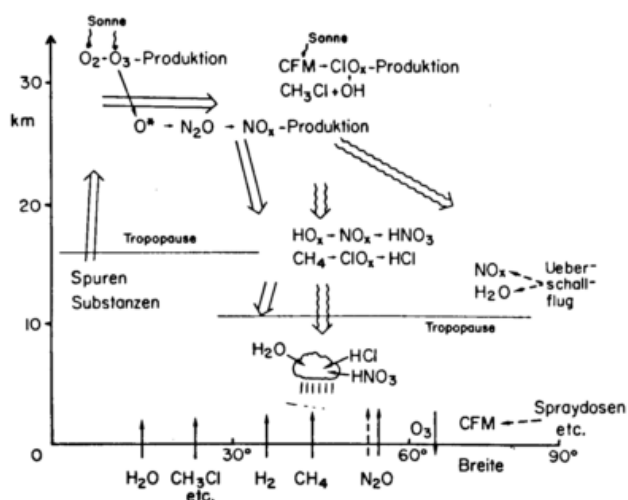


Abb. 9: Transport der Spurenstoffe.

schließlich ozonaktiv werden. Nach heutiger Ansicht geht dieser Transport in die Stratosphäre im wesentlichen durch die tropische Tropopause hindurch, im Bereich des aufsteigenden Astes der Hadleyzelle, der sich offenbar im Gegensatz zu dem, was man zunächst aus dynamischen Gründen annehmen würde, in die Stratosphäre hinauf ausdehnt. Ob auch ein direkter Transport durch die Tropopause mittlerer Breiten vor sich geht, ist heute noch umstritten. Erst in der Stratosphäre findet im wesentlichen die Radikalbildung und gleichzeitig ein weiterer Transport der gebildeten Radikale statt. Die endgültige Beseitigung von  $\text{NO}_x$  und  $\text{ClO}_x$  kommt andererseits nur durch Rück-

transport in die Troposphäre zustande; denn in der Stratosphäre, und das ist für die Beurteilung des ganzen photochemischen Systems von ausschlaggebender Bedeutung, fehlt der normale, von der Troposphäre her bekannte Selbstreinigungseffekt der Atmosphäre, fehlt der Niederschlag, über dessen Messung im vorhergehenden Vortrag berichtet wurde. Nachdem sie in die Troposphäre zurückgekehrt sind, werden die Radikale vor allem in der Form ihrer Folgeprodukte  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$  etc. im Wolkenwasser aufgelöst und ausgewaschen.

Ich habe bereits angedeutet, daß mit dieser enormen Erweiterung der Spurenstoffchemie in der Stratosphäre sich die Möglichkeit der menschlichen Einwirkung auf die Ozonschicht ergeben hat. Die berüchtigten CFM-Verbindungen kommen z.B. nur durch den Menschen in die Atmosphäre. Spraydosen und andere CFM-Anwendungen haben bis heute ungefähr die Hälfte des  $\text{ClO}_x$ , das in der Stratosphäre ozonabbauend wirkt, geliefert; die andere Hälfte stammt noch aus natürlichen Quellen wie etwa biologische Methylchloridbildung im Meer. Auch der Gehalt an  $\text{N}_2\text{O}$  ergibt sich aus natürlichem biologischem Abbau von Nitraten etc. im Boden, kann aber in der Atmosphäre dadurch gesteigert werden, daß der Mensch Kunstdünger in die Erde bringt und damit die dort abgebauten Stoffe vermehrt. Wie groß dieser Einfluß ist oder sein wird, ist heute noch sehr schwer zu sagen, weil der natürliche  $\text{N}_2\text{O}$ -Kreislauf noch nicht genügend genau bekannt ist.

Zuerst in die Schlagzeilen gekommen war seinerzeit der direkte Input von Radikalen in die Stratosphäre, nämlich die  $\text{NO}_x$ -Injektion durch hochfliegende Überschallflugzeuge. Die Ansichten über die Bedeutung des direkt in die Stratosphäre gebrachten  $\text{NO}_x$  für die Ozonschicht ist großen Schwankungen unterworfen geblieben; in der zweiten Hälfte der 70er Jahre schien der Effekt immer bedeutungsloser zu werden; mit erneuten Änderungen in der Theorie wird er nun aber wieder ernst genommen. Die CFM's hingegen sind, seit Rowland und Molina vor 7 Jahren (1974) ihre Bedeutung entdeckt haben, immer aktuell geblieben, wenn auch die mögliche Schwächung der Ozonschicht nach einigen Schwankungen in der letzten Zeit im Moment etwas weniger drastisch eingeschätzt wird.

Mit all diesen durch die Theorie offensichtlich erst teilweise gelösten Problemen haben die Ozonmessungen noch einen ganz anderen Stellenwert bekommen. Ozonmessungen sind zwar nach wie vor sehr bedeutungsvoll für die Untersuchung der Transportvorgänge, bei denen Ozon als Tracer dienen kann. Dabei haben die Transportvorgänge gegenüber früher noch größere Bedeutung erhalten, weil, wie gesagt, noch viele andere, für die stratosphärische Chemie wichtige Substanzen, transportiert werden. Aber andererseits möchten wir aus den Ozonmessungen auch ableiten, ob die Modelle, mit denen die Wirkung der anthropogenen Einflüsse auf das Ozon berechnet wird stimmen, ob sie übertreiben, ob sie untertreiben.

Ich spreche von Modellen; bei der alten Chapman-Theorie war es möglich, eine einfache Formel hinzuschreiben und daraus mit etlicher Rechenschieber- oder heute Computerarbeit die vertikale Verteilung des Ozons noch relativ einfach auszurechnen. Heute braucht man ein photochemisches „Modell“; denn aus 50 Gleichungen kann man nicht mehr eine einfache Formel ableiten; die Lösung kann nur noch ein Computer mit Hilfe iterativer Prozesse liefern. Das komplexe chemische Modell wird noch dadurch kom-

pliziert, daß die Transportvorgänge mit hineingenommen werden müssen. Man kann nicht Photochemie für sich treiben, man muß die Kombination der photochemischen Prozesse mit den gleichzeitigen Transportvorgängen modellieren können. Die Kombination eines dreidimensionalen Transport-Modells mit der vollen Chemie schluckt aber kein Computer der heutigen Generation; man muß also immer irgendwelche Vereinfachungen vornehmen; sei es in der Chemie oder durch Parameterisierung des Transportes. Deshalb möchte man anhand der Messungen das Ergebnis überprüfen können.

Es ist nun klar, daß in diesem Zusammenhang eine Meßreihe wie die des Observatoriums Hohenpeißenberg – von der man ohne Übertreibung sagen kann, daß sie die homogenste und die sauberste ist, die es auf der ganzen Welt gibt, und die heute immerhin auf etwa 15 Jahre zurückgeht – für eine solche Untersuchung sehr wesentliches Material zur Verfügung stellt. Natürlich ist man geneigt, zunächst das Gesamt-ozon zu betrachten, für das schon viel längere Meßreihen bestehen; was daraus resultieren kann, sehen Sie in Abbildung 10, welche die 55jährige Gesamt-ozonmeßreihe in Arosa zeigt. Versuchen wir hier einen Trend zu finden! Nehmen wir etwa die berühmten Jahre von 1963 bis 1970, in denen im ganzen amerikanischen Meßnetz und schließlich auch weltweit ein kräftiger Ozonanstieg gefunden wurde. Es wurde daraus vielfach gefolgert, daß die anthropogenen Spurenstoffe dem Ozon nichts anhaben könnten. Beginnen wir die Analyse aber ein paar Jahre früher, dann geht der Trend offensichtlich in die Gegenrichtung; erst recht, wenn wir mit 1940 beginnen, als während der ersten Kriegsjahre die höchsten bisher beobachteten Ozonmaxima gemessen wurden, interessanterweise nicht nur in Europa, sondern auch anderen Orts. Gehen wir schließlich auf den Anfang der Meßreihe zurück, so finden wir ungefähr gleiche Werte wie heute. Mit anderen Worten: der meteorologische „Noise“, der sich hier in diesen Messungen widerspiegelt, d.h. eben die Einwirkung der globalen Zirkulation auf den Ozongehalt der Atmosphäre, erschwert eine solche Trendbildung so stark, daß die anthropogene Beeinflussung bereits eine Abnahme von etwa 5% bringen müßte, bis sie aus den Messungen mit Sicherheit als solche erkannt werden könnte.

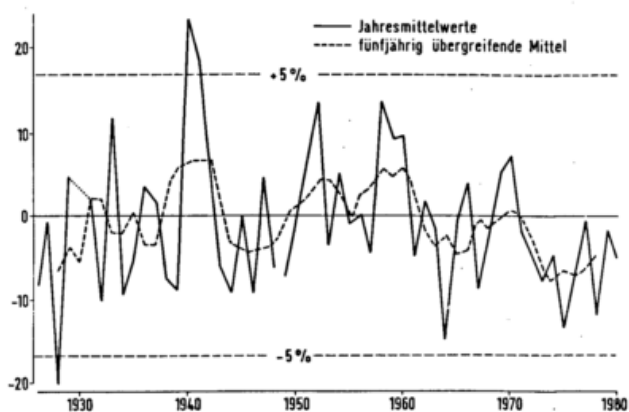


Abb. 10: Die 55jährige Gesamt-ozonmeßreihe in Arosa (Schweiz).

Daraus ergibt sich die Frage, ob aus den zwar kürzeren Meßreihen der vertikalen Verteilung doch eher ein aussagekräftiges Resultat zu erwarten sei. In verschiedenen Höhen ist nach der neuen Theorie die Auswirkung der anthropogenen Substanzen auf das Ozon recht unterschiedlich. Sehen wir uns daher einmal an, was die Meßreihe von Hohenpeißenberg in dieser Hinsicht aussagt (Abb. 11). Die Messungen in 21 und 25 km Höhe zeigen, daß nach einigen Jahren leichten Anstiegs oder von Konstanz tatsächlich eine gewisse Abnahme angedeutet ist. Sie ist aber sicherlich nicht signifikant und viel zu klein, als daß man sie wirklich als Folge anthropogener Einwirkung ansprechen möchte. Viel deutlicher als diese Abnahme tritt im 21-km-Niveau eine 2jährige Schwankung hervor, als Folge der entsprechenden (genauer etwa 26 monatigen) Variation der stratosphärischen Zirkulation in den Tropen. Sie setzte nach 1974 aus, um gegen Ende des Jahrzehntes mit entgegengesetzter Phase wieder in Erscheinung zu treten. Ein solcher Phasenumschlag war zu erwarten, da die ursprüngliche Periode kein Vielfaches eines Jahres ist, während der hemisphärische Transportvorgang ein jährliches Phänomen darstellt. Auch in 30 km Höhe ist eine kleine Abnahme angedeutet, sie ist ebenfalls nicht signifikant.

Andererseits hat sich aus der modernen Theorie ergeben, daß auch in der Troposphäre noch photochemische Prozesse ablaufen, die das Ozon beeinflussen. Früher glaubte man, das troposphärische Ozon existiere nur als Folge von Transportvorgängen aus der Stratosphäre, wie in Abbildung 4 angedeutet ist, und werde dann am Boden zerstört. Das Pendel schlug dann voll in die Gegenrichtung aus, und es wurde behauptet, in der Troposphäre beste-

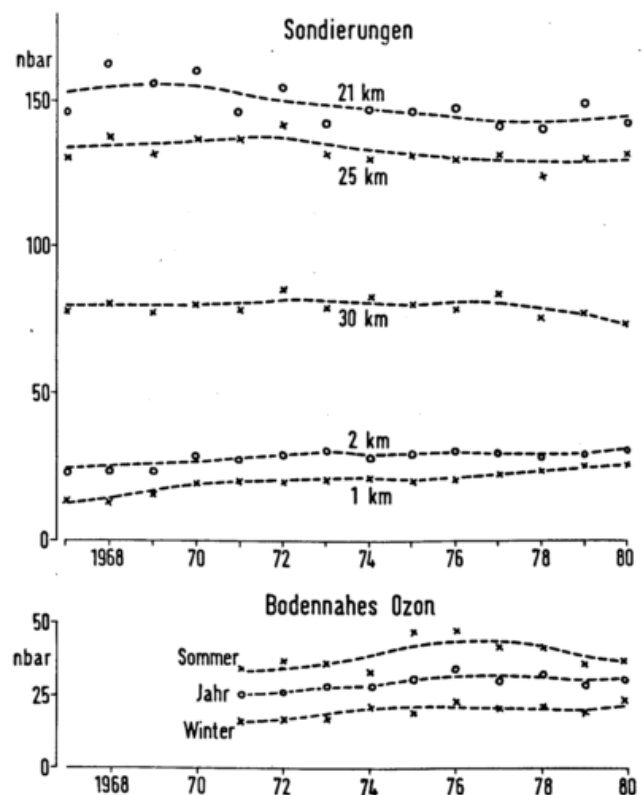


Abb. 11: Längerfristige Änderungen des Ozongehaltes über Hohenpeißenberg sowie des dortigen bodennahen Ozons.

he weitgehend photochemisches Gleichgewicht. Heute liegen die Ansichten etwa in der Mitte; die photochemischen Wirkungen werden anerkannt, sind aber etwa in der gleichen Größenordnung wie die Transporteinflüsse, womit die beiden relativ schwer voneinander zu trennen sind.

Die Sondierungen in Hohenpeißenberg zeigen in der Troposphäre einen nicht unbedeutenden Aufwärtstrend seit 1967. Prozentual ist er erheblich größer als die Abnahme in der mittleren Stratosphäre. Ein solcher Aufwärtstrend wurde tatsächlich durch die Theorie, z.B. durch die Arbeiten von *Crutzen* vorausgesagt, und zwar im wesentlichen im Zusammenhang mit der Zunahme des Kohlenmonoxids in diesen Schichten, das merkwürdigerweise auch in die photochemischen Prozesse eingreift; andere Autoren stellen eine Stickoxidzunahme als Ursache in den Vordergrund.

Zur weiteren Erforschung dieser Frage können auch die Messungen beitragen, die auf dem Hohenpeißenberg in Bodennähe seit 10 Jahren kontinuierlich durchgeführt werden, und deren Resultate ebenfalls in Abbildung 11 eingetragen sind. Auch hier zeigt sich ein langsamer Anstieg, mindestens der Jahresmittel, während die Sommerwerte etwas herausfallen und ein Maximum etwa in den Jahren 1975–1976 aufweisen. Dieses Maximum steht möglicherweise im Zusammenhang mit Smogluft aus dem Raume von München, die sich in den warmen Sommern besonders kräftig entwickelt; es könnte aber auch mit der in heißen Sommern verstärkten Gewittertätigkeit verknüpft sein. Wir wissen heute noch nicht, ob die Gewittertätigkeit etwas zur Ozonproduktion durch die elektrischen Ladungen direkt beiträgt, oder ob sie nur den Transportmechanismus verstärkt.

Es gibt damit im troposphärischen und stratosphärischen Bereich offenbar noch viele offene Fragen, und es bleibt noch einiges zu tun; ich hoffe, daß es hier auf dem Hohen-

peißenberg getan wird, denn die Güte der Beobachtungen, die hier durchgeführt werden, ist bekannt und z.B. dadurch honoriert worden, daß die Weltorganisation für Meteorologie und die Internationale Ozonkommission zweimal dem Observatorium Hohenpeißenberg die Durchführung internationaler Ozonsondenvergleiche übertragen hat; Vergleiche, die wir brauchen, um weltweit ein Netz in Betrieb halten zu können. Man nahm mit Recht an, daß hier auf dem Hohenpeißenberg die besten Voraussetzungen für eine effiziente Durchführung eines solchen Versuches gegeben seien. Dasselbe gilt für den Vergleich von Instrumenten zur Messung des bodennahen Ozons. So möchte ich meine Ausführungen damit schließen, daß ich meiner herzlichen Gratulation zum 200jährigen Geburtstag des Observatoriums den Wunsch anfüge, daß die schönen Arbeiten, die hier im zweiten Jahrhundert durchgeführt worden sind, im dritten fortgesetzt und weiter ausgebaut werden können.

#### Literatur

- Chapman, S.*: A theory of upper atmospheric ozone. Mem. Roy. Meteorol. Soc. 3 (1930) S. 103.
- Crutzen, P. I.*: Persönliche Mitteilung (1980).
- Dobson, G. M. B.; Brewer, A. W.; Cwilong, B. M.*: Meteorology of the lower stratosphere. Proc. Roy. Soc. Lond. A 185 (1946) S. 144–175.
- Hampson, I.*: Photochemical behaviour of the ozone layer. Can. Arm. Res. Develop. Etabl., Techn. Note 1627, Valcartier, Quebec (1964).
- Molina, M. S.; Rowland, F. S.*: Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom catalyzed destruction of ozone. Nature 249 (1974) S. 810

#### Schlußworte des Präsidenten des Deutschen Wetterdienstes

Am Schluß der feierlichen Veranstaltung überreichte der Präsident des Deutschen Wetterdienstes die ersten sechs Exemplare der Festschrift „200 Jahre meteorologische Beobachtungen auf dem Hohenpeißenberg 1781–1980“ mit freundlichen Worten an die Herren *Prof. Dr. Wiin-Nielsen*, *Ministerialrat Toepel*, *Monsignore Mois*, *Landrat Blaschke*, *Prof. Dr. Ehlers* und *Ltd. Regierungsdirektor Dr. Attmannspacher*.

Er brachte seine Freude darüber zum Ausdruck, daß die

umfangreiche Festschrift rechtzeitig erscheinen konnte. Dies sei nicht nur ein Verdienst der beteiligten Autoren, sondern auch dem Einsatz von Herrn *Regierungsdirektor Schlegel* zu verdanken, der die Redaktion und Drucklegung in kurzer Zeit zu bewerkstelligen hatte.

Der Präsident wünschte Herrn *Dr. Attmannspacher* weiterhin den besten Erfolg und sprach ihm und seinen Mitarbeitern den besonderen Dank des Deutschen Wetterdienstes aus.

