

Antragsteller:

Dr. Klaus Pfeilsticker
Institut für Umweltphysik
INF 229
Universität Heidelberg
69117 Heidelberg

z. Zt.
NOAA/Aeronomy Lab
325 Broadway
Boulder, Co 80303
USA
email: pfeilsticker@al.noaa.gov
Phone: (303) 497-3735
Fax: (303) 497-5686

VORHABENS BESCHREIBUNG ZUM THEMA:

**4D Bewölkung der unteren Atmosphäre (4D Wolken):
Untersuchung der Photonenwegdichteweglängenverteilung des Streulichtes
bei bewölktem Himmel, sowie neuartige Untersuchung der typischen
räumlichen Skalierungseigenschaften bei unterschiedlicher Bewölkung**

1. Ziele**1.1 Gesamtziele des Vorhabens**

Im Rahmen des Vorhabens sollen die Weglängen solarer Photonen beim Durchgang durch die Erdatmosphäre vermessen werden. Weiter soll aufbauend auf Vorarbeiten (Savigny et al., 1999, 2000) die typischen räumlichen Skalen des atmosphärischen Strahlungstransportes und der Bewölkung mit Hilfe eines schnellen Vielkanalradiometers sowie mit neuen mathematischen Verfahren der Multifraktalitätsanalyse untersucht werden. Dieses Vorhaben dient somit dazu Lücken in unserem Verständnis des atmosphärischen Strahlungstransportes zu schließen, die vor allem durch den fraktalen Charakter der Bewölkung in der Erdatmosphäre bedingt sind. Die Erkenntnisse dienen primär dazu, die möglichen Diskrepanzen zwischen modellierter und beobachteter atmosphärischer Strahlungsheizung durch die solare Strahlung zu klären. Dieses Ziel dient somit dazu die Unsicherheiten des sogenannten Wolken'feed-back's in der Klimamodellierung zu reduzieren.

Für diese Forschungsvorhaben schlagen wir daher vor:

- die Messung der Photonenweglängenverteilung (des ersten und zweiten Momentes),
- die Ableitung des sogenannten Lévy-Indexes in Abhängigkeit der Bewölkungsart, atmosphärischen Zustandsgrößen und Sonnenstand, sowie eine Untersuchung über die 'Lokalitätseigenschaft' der abgeleiteten Photonenweglängenverteilung
- die Ableitungen der höheren Momente der Photonenweglängenverteilung durch neuartige (aber schon erprobte) Messungen einer größeren Anzahl (mind. 30) von Sauerstoff A Rotationsübergängen.
- die Charakterisierung der räumlichen Variabilität bzw. der Multifraktalität unterschiedlicher Bewölkung

- die Charakterisierung der typischen räumlichen Skalen des Strahlungstransportes in der bewölkten Atmosphäre durch Anwendung einer neuartigen multifraktalen Analyse der zeitlichen und räumlichen Variabilität des Himmelslichtes

1.2 Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen (Förderprogramm)

Es besteht ein direkter Bezug zu **Thema I** der BMBF-Ausschreibung zum AFO 2000 Förderschwerpunkt: Unter 4. Aufgelistete Forschungsempfehlungen: „*Transportprozesse zwischen planetarer Grenzschicht und der freien Troposphäre unter besonderer Berücksichtigung von Wolkenbildung und Strahlungshaushalt*“ sowie „*Vertikalmessungen in der planetaren Grenzschicht und der unteren Troposphäre (... Flugzeuge,...)*“.

Ein weiterer Bezug besteht auf die Empfehlung im Konzeptpapier, die „*große, unverstandene Diskrepanz zwischen experimentellen Ergebnissen und der modellmäßigen Beschreibung*“ (S. 1, Ende zweiter Abschnitt) des Strahlungstransportes in der bewölkten Atmosphäre zu erklären.

1.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens

Folgende Arbeitsziele sind geplant:

Messung der Photonenweglängenverteilung bei unterschiedlicher Bewölkung

Ausgehend von den in der beantragenden Arbeitsgruppe in letzten Jahren gesammelten Erfahrungen Messungen der Photonenweglängenverteilung in der bewölkten Atmosphäre mit Hilfe der hochauflösenden Sauerstoff A-Bandenspektroskopie soll das der weltweit bisher einzigartige Meßverfahren verfeinert bzw. verbessert werden.

A1 technische Ziele:

Um diese weltweit herausragende Stellung der Arbeitsgruppe zu sichern, bzw. um die bisher noch bestehenden Defizite des bisherigen Meßaufbaues auszuschalten, soll ein Spektrometer mit

- (a) einer Verbesserung der spektralen Auflösung all bisher (FWHM/0.018 nm, in Zukunft 0.009 nm),
- (b) ein vergrößerter Spektralbereich (bisher 3 nm, in Zukunft 5 nm) sowie (c) eine Verbesserung der Meßempfindlichkeit

aufgebaut werden. Die technischen Ziele (a→c) werden durch den Einsatz einer hochempfindlichen CCD Kamera als Detektor eines neuen hochauflösenden Gitterspektrographen verwirklicht. Beide Geräte werden jedoch nicht aus Mitteln dieses Vorhabens beschafft. Die neue Apparatur soll jedoch mit Mitteln des Vorhabens in einem transportablen Container integriert werden, um ihren Einsatz bei den geplanten gemeinsamen Feldkampagnen (s.u.) zu vereinfachen bzw. zu ermöglichen.

A2 Wissenschaftliche Ziele:

Ausgehend von der verbesserten spektroskopischen Meßtechnik (s.o.) können folgende neue wissenschaftliche Ziele in Angriff genommen werden:

- Messung von Sauerstoff A-Bandenspektren mit verkürzten Integrationszeiten (30 s, bzw. etwa 300m räumliche Auflösung) die für die meiste Bewölkung unterhalb

der sogenannten `radiative smoothing scale`¹ liegen. Dadurch läßt sich z. Bsp. auch die Frage nach der `Lokalität` der Photonenweglängenverteilung bzw. des Lévy Stabilitätsindizes² (α) näher untersuchen.

- genauere Vermessung der Sauerstoff A-Bandenlinien - und somit der Photonenweglängenverteilung – aufgrund der wegen der höheren Auflösung - geringeren Korrekturen der gemessenen Spektren durch die Instrumentenspaltfunktion.
- Gleichzeitige Aufnahme einer größeren Anzahl (als bisher) von Sauerstoff A-Bandenlinien und somit die Möglichkeit höhere Momente der Photonenweglängenverteilungen zu untersuchen. Die Untersuchung einer größeren Anzahl von Momenten der Photonweglängenverteilung ermöglicht erstmals die Erforschung der Frage `ob bedingt durch die Multifraktalität des Generator (Wolken) die Antwortfunktion des Strahlungstransportes (Photonweglängenverteilung) auch multifraktale Eigenschaften besitzt, bzw. wie beide Eigenschaften miteinander verknüpft sind.
- Untersuchung der Photonenweglängenverteilungen, bzw. der höheren Momente der Photonenwege und des Lévy Stabilitätsindex α als Funktion der Bewölkung, i.e., ihrer Art und anderen Bewölkungseigenschaften wie liquid water path (Mikrowellengerät), liquid water content (Flugzeugmessungen), räumliche Ausdehnung (Wolkenradarmessung), etc..

Messungen der typischen räumlichen Skalierungseigenschaften der Bewölkung und des Strahlungstransportes

B1 Technische Ziele:

Im Rahmen des Vorgaben soll ein bestehendes Vielkanalradiometer zu einem flugfähigen Radiometer mit verbesserter zeitlicher Auflösung umgebaut werden, und auf einem im Rahmen des Vorhaben eingesetzten Flugzeug (Partner IFT/Leipzig mit Partenavia, oder IWW Berlin Cessna,) mit geflogen werden. Der Bau eines schnellen Vielkanalradiometers ist notwendig um einige Nachteile des bisherigen stationären Meßverfahren zu eliminieren. Die Nachteile des bisherigen Verfahren sind

- (1) keine exakte äquidistante Messung des Himmelsstreulichtes, da nur die Wolkendrift über den Meßort ausgenutzt wurde und daher
- (2) bei der Auswertung der Meßdaten von der Ergodie (Vertauschung von Zeit und Raum Dimension) des Problems ausgegangen wurde. Weiterhin war
- (3) mit einem stationären Radiometer nur eine räumliche Skala von der Größe Tageslänge mal Wolkendriftgeschwindigkeit (bestenfalls 500 km) vermeßbar, was eine eindeutige Untersuchung eines etwaigen Skalenbruchs in der Bewölkung im mesoskaligen Bereich nicht zuläßt.

Die technischen Ziele sind im einzelnen:

- Aufbau eines lichtstarken und flugfähigen Vielkanalradiometers mit einer `sampling rate` von mindesten 20 Hz (bisher 2 Hz).
- Einbau des Radiometers in die Cessna des IWW/Berlin oder die Partenavia/IFT Leipzig (muß noch vor Ort geklärt werden)

B2 Wissenschaftliche Ziele:

¹ Die `radiative smoothing scale` definiert die räumliche Skala unterhalb die Strahlungsübertragung deutlich weniger Variabilität zeigt als der Flüssigwassergehalt der Wolken. Für die meisten Strahlungsmessungen definiert sie deswegen eine untere Schranke für eine wünschenswerte räumliche Auflösung der Meßapparatur.

² siehe Pfeilsticker, K., JGR, 104, 4101 - 4116, 1999;

Durch den Bau eines schnellen Vielkanalradiometers können folgende neuen wissenschaftliche Fragestellungen detailliert untersucht werden:

- Messung der 'radiative smoothing scale' als Funktion der 'single scattering albedo' bei unterschiedlicher Bewölkung³
- Untersuchung der typischen Skalierungseigenschaften von Bewölkung, insbesondere soll die Frage eines 'mesoskaligen Skalenbruch' in der Wolkenbildung bzw. den darunterliegenden Prozessen untersucht werden.
- Multifraktalanalyse der räumlichen und zeitlichen Variation des Himmelstreulichtes⁴ und der LWC Messungen der Uni Bonn bei gleichzeitiger Analyse der durch Radar- und in-situ Messungen bestimmten Variabilität der Bewölkung.
- Klärung der möglichen Verknüpfung der Skalierungseigenschaften der Bewölkung und des Strahlungstransportes mit Hilfe eines MC Modells (Zusammenarbeit mit Uni. Mainz).
- Messungen der Variabilität der Strahlungsfeldes innerhalb von Wolken und Vergleich mit dem in-situ gemessenen mit dem Wolkenflüssigwassergehalt (LWC).

2. Stand der Forschung, Eigene Vorarbeiten

2.1 Stand der Forschung

Der atmosphärische Strahlungstransport in und durch Wolken ist bis heute in großen Teilen noch mangelhaft verstanden. Ein für die Klimaforschung bedeutsames Problem sind hierbei die bestehenden Unsicherheiten in der Absorption der kurzwelliger Sonneneinstrahlung (0.3 - 4 micrometer) in der klaren bzw. in der bewölkten Atmosphäre (Stephens and Tsay, [1990], Cess et al., [1995], Ramanathan et al., [1995], Kerr, [1995], Pilewskie and Valero, [1996], Arking, [1996]). Neueste Untersuchungen zeigen dabei, daß zwischen der modellierten Energieabsorption (etwa 56 - 68 W/m²) und der beobachteten (aus GEBA/Global Energy Balance Archive Stationen etwa 89 W/m² bzw. mit dem ERBE-Satelliten (ERBE/Earth Radiation Budget Experiment) etwa 83 W/m²) abgeleitete solaren Strahlungsheizung der klaren und den bewölkten Himmel umfassenden Atmosphäre ('also all sky') eine große Diskrepanz besteht [Arking, 1996; Wild et al., 1996]. In diesem Zusammenhang sei auch das seit kurzem heftig debattierte Phänomen der 'Anormalen Wolkenabsorption' erwähnt. Es bezieht sich auf die Absorption der 'kurzwelligen' solaren Strahlung. bei dem ein an 25 W/ m² reichender Unterschied zwischen der beobachteten und der modellierte 'all sky' Heizungsrate diskutiert wird.

Die Ursachen einer möglichen anormalen Wolkenheizung sind bis heute noch nicht ansatzweise verstanden, siehe z.B. Ramanathan et al., [1995]; Imre et al., [1996].

Falls sich die bisher vorliegenden Beobachtungen bzgl. dieses Phänomens bestätigen, so müßte unsere Vorstellung vom Strahlungshaushalt der Erde und seine Repräsentation in Computermodellen des Erdklimas beträchtlich geändert werden. Dies hätte sicherlich auch erhebliche Auswirkungen auf die Vorhersage der bevorstehenden Klimaänderung [Wild et al. 1996].

Unklar ist hierbei insbesondere ob die erwähnten Diskrepanzen zwischen den Modellen und den Beobachtungen durch unbekannte Prozesse des Strahlungstransportes in der bewölkten Atmosphäre oder aber durch unbekannte Absorber bzw. Absorptionsmechanismen in der klaren und bewölkten Atmosphäre verursacht wird, Li et al., [1995; Arking, [1996]. Die eine

³ als single scattering albedo wird das Verhältnis 1 minus Quotient aus Extinktion durch Streuung und Gesamtextinktion (Streuung und Absorption) bezeichnet. Hier soll die single scattering albedo in Spektralbereichen bestimmt werden in der nur 'gaseous absorption' stattfindet.

⁴ see Savigny et al., 1999, and 2000

mögliche Erklärung für die großen Ungenauigkeiten in der Berechnung der solaren Strahlungsabsorption -

eben die schwierige bzw. fehlerhafte Beschreibung des atmosphärischen Strahlungstransportes bei inhomogener d.h. fraktaler bzw. durchbrochener Bewölkung - soll mit dem Vorhaben experimentell untersucht werden.

Neuere Forschungsarbeiten - die teilweise auch von den Antragstellern durchgeführt wurden - haben dabei gezeigt, daß der für die Absorption der kurzwelligen solaren Strahlung mitentscheidende atmosphärische Photonenweg u.a. von der fraktalen Dimension der Wolken abhängt; Cahalan et al., [1994a,b]; Marshak et al., [1995];

Davis et al., [1997] Davis and Marshak, [1998]; Borde et al., [1996]; Pfeilsticker et al., [1998a,b,c,d]; und Veitel et al., [1998b].

Eine Möglichkeit den Strahlungstransport in der bewölkten Atmosphäre besser zu charakterisieren, liegt in der Messung der Photonenweglängen bzw. ihrer Verteilung durch hochauflösende spektroskopische Messungen. Diese Idee wurde von den Antragstellern vorgeschlagen und in jüngster Vergangenheit intensiv verfolgt.

Dazu wurde von den Antragstellern die Methode der spektroskopisch hochauflösenden Messungen der Sauerstoff A-Bandenabsorptionen des im Zenit gestreuten Himmelslichtes entwickelt und erfolgreich eingesetzt [Erle et al., 1995; Funk, 1996; Pfeilsticker et al., 1997; Pfeilsticker et al., 1998a,b,c,d; Veitel et al., 1998; Wagner et al., 1998].

Weiterhin hat die bisherige Diskussion auch gezeigt, daß eine realistische Modellierung des Strahlungstransportes für die fraktale Bewölkung der Erdatmosphäre und damit eine Bestimmung der atmosphärischen Heizung durch die solare Strahlung bzw. der Photolyse zugrunde liegenden aktinischen Strahlungsflüsse schwierig ist. Einfache 'line by line' oder 'k-Distribution' Modelle für planparallele homogene Bewölkung beschrieben die Verhältnisse -- entgegen der verbreiteten Annahme -- nur unzureichend. Weiterhin sollten auch die Heizungsraten durch die kurzwellige solare Strahlung nicht nur von der mittleren Photonenweglänge sondern bei fraktaler Bewölkung von der Verteilung der Wege abhängen [Pfeilsticker, 1998a,d].

Ganz unabhängig davon ist es natürlicherweise auch unabdingbar solche Rechnungen durch entsprechende Feldmessungen zu validieren.

Die Unterschiede zwischen den Beobachtungen und Modellrechnungen der solaren Strahlungsabsorption in der Atmosphäre geben dabei auch zu der Vermutung Anlaß, daß vielleicht durch die in den Modellen üblicherweise gemachten Vereinfachungen wichtige Effekte der fraktalen Bewölkung nicht korrekt wiedergegeben werden.

Daher soll in diesem Forschungsvorhaben, ausgehend von den Meßergebnissen, mit einer von Davis und Marshak [1998] vorgeschlagene Parametrisierung der Photonenweglänge bzw. ihre Abhängigkeit von der Fraktalität der Bewölkung eingehend überprüft werden.

Weiterhin ist wegen des 'Principle of Equivalence' (das Prinzip besagt, daß der Strahlungstransport nur von der sogenannten 'single scattering albedo' aber nicht explizit von der Wellenlänge abhängt) eine Messungen der Photonenweglängenverteilung in der Erdatmosphäre, wie hier vorgeschlagen, offensichtlich eine der fundamentalsten Methoden um den Strahlungstransport in der Erdatmosphäre zu überprüfen [van de Hulst, 1980].

Weiterhin besteht zudem ein eigenständiges theoretisches Interesse an der zeitlichen/räumlichen Änderung der Streulichtintensität, die als eine fundamentale Eigenschaft des Strahlungstransports aufgefaßt werden kann (Austin et al., 1999; Cahalan et al. 1989; Cahalan et al., 1994 and 1994b; Davis et al., 1994 und 1997; Gabriel et al., 1988; Marshak et al., 1994, 1995 und 1997; Pierrehumbert et al., 1996). Gemeint ist hier ein Interesse an den fraktalen und multifraktalen Eigenschaften der Intensitätsvariation. So trägt die Untersuchung der statistischen Eigenschaften der Intensitätsvariation und deren Vergleich mit den Eigenschaften des Streuzentrendichtfeldes, zur Verbesserung des Verständnisses des Strahlungstransports in der terrestrischen Atmosphäre bei (Savigny et al., 1999 und 2000). Diese Anwendung ist insbesondere in der Klimamodellierung wichtig, da dort abhängig vom Model 'subgridkalige' Prozesse vernachlässigt werden, jedoch ein

Interesse in mittlere (oder höhere Momente davon) Eigenschaften, wie die solare atmosphärische Strahlungsabsorption, Wolkenalbedo und Transmission zum Boden besteht. Andererseits ist jedoch bekannt, daß die Größe der statischen Momente von multifraktalen Eigenschaften (wie die Bewölkung, oder die räumliche Variation des Strahlungstransportes) von der Kantenlänge (d.h. hier dem Grid im Klimamodell) der untersuchten Skala abhängen⁴. Ist daher von fundamentaler Natur die Skalierungseigenschaften der Bewölkung und des Strahlungstransportes zu kennen.

Eine andere Motivation für die hier vorgeschlagenen Messungen ist auch sie als Studienobjekt für statistische Strahlungstransportmodelle zu begreifen. So ermöglicht die Beobachtung, den Einfluß von Wolken mit (multi-)fraktalen Eigenschaften auf das Strahlungsfeld zu untersuchen. Gleichzeitige Messungen der vertikalen Flüssigwassergehaltssäule - ein Maß für die optische Dicke der Wolke - durch ein Mikrowellenradiometer lassen interessante Schlüsse über den Strahlungstransport zu. Die Photometermessungen stellen somit eine experimentelle Datenbank dar, mittels derer die Gültigkeit räumlich hochaufgelöster Strahlungstransportmodelle überprüft werden kann. Für eine theoretische Untersuchung ist eine auf der Monte-Carlo (MC) Methode beruhendes Modell geeignet (wie in dem Antrag angestrebt), das den Strahlungstransport durch realistische, mit einem multifraktalen Wolkenmodell erzeugte Wolken simuliert.

Der hier vorgelegte Antrag konzentriert sich auf eine statistische Charakterisierung der Datensätze mit neuartigen, sogenannten multifraktalen Analysemethoden. Eine Vielzahl geophysikalischer Prozesse ist geprägt durch nicht-lineare Dynamik, verbunden mit Instabilitäten, die zu hochgradig fraktalen Zeitabhängigkeiten führen können. Eine umfassende statistische Analyse sollte in solchen Fällen Methoden anwenden, die diesen Bedingungen angemessen sind. Das bedeutet insbesondere eine Quantifizierung von Fraktalität durch Bestimmung fraktaler Dimensionen. Durch die Anwendung klassischer statistischer Methoden wie Histogrammen oder Energiespektren ist eine Differenzierung zwischen Prozessen fundamental unterschiedlicher Natur häufig nicht möglich.

Histogramme lassen beispielsweise keine Aussagen über zeitliche/räumliche Korrelationen zu, spektrale Energiedichtefunktionen können für verschiedene Signale identisch sein. Um der immanenten Variabilität geophysikalischer Signale Rechnung zu tragen, die sich oft über viele Größenordnungen erstreckt, wurde von Marshak et al. (1994) und Davis et al. (1994) eine neuartige, sogenannte Bi-Multifraktale statistische Analysemethode vorgeschlagen. Die Methode vereint die aus der Turbulenztheorie bekannte Strukturfunktionsanalyse mit der Singularitätsanalyse. Diese multifraktalen Methoden ermöglichen eine Quantifizierung von Stationarität und Intermittenz der Datensätze. Dabei ist Stationarität die Invarianz statistischer, aus einem gegebenen Datensatz abgeleiteter Größen gegenüber Translation. Intermittenz impliziert, anschaulich gesprochen, ein singuläres Verhalten des Graphen im Sinne eines plötzlichen Auftretens von Funktionswerten, die extrem vom wahrscheinlichsten Wert abweichen (engl. spikyness).

Eine der wichtigsten bisherigen Anwendungen des Bi-Multifraktalen Ansatzes ist die Charakterisierung der multifraktalen Eigenschaften der Verteilung des Flüssigwassergehaltes (engl. Liquid Water Content, oder LWC) mariner Stratocumulusbewölkung (Marshak et al., 1997), sowie der multifraktalen Eigenschaften fraktaler Wolkenmodelle zur Simulation des LWC (Marshak et al., (1994). Eine realistische Modellierung terrestrischer Bewölkung muß die tatsächlichen Wolken insbesondere hinsichtlich der (multi-)fraktalen Eigenschaften möglichst gut reproduzieren. Die Anwendung der Bi-Multifraktalen Methode kann damit einen wichtigen Beitrag zur vollständigeren statistischen Beschreibung von Datensätzen und zur Feststellung der Güte theoretischer Modelle leisten.

Davis et al.(1994) forderten zudem die allgemeine Akzeptanz des vereinheitlichten Bi-Multifraktalen Konzepts als wissenschaftliches Protokoll zur Kommunikation zwischen

⁴ z. Bsp. hängt die Küstenlänge von Großbritannien von der Länge des Maßstabs ab (siehe z. Bsp. Mandelbrot, Fractals, 1977), jedoch falls die Küste ein Multifraktal wäre – was sie nicht ist -- würde sich ihre Länge nicht in der dort gezeigten trivialen Weise skalieren.

Theoretikern und Experimentatoren. Aufgrund der Vielseitigkeit der Methode, die sich prinzipiell auf jeden beliebigen skaleninvarianten, theoretischen oder empirischen Datensatz anwenden läßt, ist es vorstellbar, daß die Verwendung der Begriffe Stationaritätsparameter und Bi-Multifraktale Ebene in geraumer Zeit genauso geläufig sein wird wie die der Begriffe Standardabweichung und Normalverteilung. In dieser Hinsicht kann die vorliegende Antrag zur auch Verbreitung des neuartigen Konzepts beitragen.

Ein wesentlicher Aspekt dieser spektralen Charakterisierung ist also die Existenz eines Skalenbruches im Energiespektrum, der auf horizontale Photonendiffusion in Wolken zurückgeführt werden kann (e.g., Savigny et al., 1999). Man spricht in diesem Zusammenhang von Strahlungsglättung oder engl. 'Radiative Smoothing' (Marshak et al., 1995). Fraglich ist ob neben diesen Skalenbruch bei großen Wellenzahlen noch ein weiterer Skalenbruch bei kleinen Wellenzahlen prinzipiell vorliegen sollte, der auch auf einen Skalenbruch in den Wolkenbildungsprozessen hindeuten könnte (Austin et al., 1999; Savigny et al., 2000).

Wie oben dargelegt soll mit dem hier vorgeschlagenen Forschungsvorhaben soll der Einfluß des Strahlungsübertragung (Stichwort Photonenweglängen und Variabilität der Bewölkung bzw. der Strahlungsübertragung) auf die Absorption der solaren Strahlung in der bewölkten Atmosphäre eingehend untersucht werden. Das Forschungsvorhaben (wie auch schon der geleisteten Vorarbeiten) zielt daher auf die Gewinnung neuer Erkenntnisse zum Strahlungstransport in der bewölkten Atmosphäre und ist damit ein Beitrag zum besseren Verständnis der Absorption solarer Strahlung durch terrestrische Wolken und dient somit zur Verbesserung der Klimamodellierung.

Literatur zum Thema:

(Die eigenen Arbeiten sind in Kapitel 2.2 aufgeführt)

- Arking, A., Absorption of Solar Energy in the Atmosphere: Discrepancy between Model and Observation, *Science*, 273, 779, 1996.
- Austin, P., M. Szczodrak and G. Lewis, Spatial variability of Satellite-retrieved optical Depth and effective Radius in marine stratocumulus Clouds, 10th AMS Conference on Atmospheric Radiation, 1999.
- Cahalan, R., and J. Snider, Marine stratocumulus structure, *Remote Sens. Environ.*, 28, 95-107, 1989.
- Cahalan, R. F., W. Ridgeway, W. J. Wiscombe, and T. L. Bell, The albedo of fractal stratocumulus clouds, *J. Atmos. Sci.*, 51, 16, 2434, 1994a.
- Cahalan, R. F., W. Ridgeway, and W. J. Wiscombe, Independent Pixel and Monte Carlo Estimates of Stratocumulus Albedo, *J. Atmos. Sci.*, 51, 24, 3776, 1994b.
- Cess R. D., Zhang M. H., Minnis P., Corsetti L., Dutton E. G., Forgan B. W., Garber D. P., Gates W. L., Hack J. J., Harrison E. F., Jing X., Kiehl J. T., Long C. N., Morcrette J.-J., Potter G. L., Ramanathan V., Subasilar B., Withlock C. H., Young D and Zhou Y., Absorption of solar radiation by clouds: observations versus models, *Science* 267, 496-499, 1995.
- Davis, A., A. Marshak, W. Wiscombe, and R. Cahalan, Multifractal Characterizations of Nonstationarity and Intermittency in Geophysical Fields: Observed, Retrieved, or Simulated, *J. Geophys. Res.*, 99, NO. D4, 8055-8072, 1994.
- Davis, A., A. Marshak, R. F. Cahalan, and W. Wiscombe, The Landsat scale-break in stratocumulus as three-dimensional radiative transfer effect, implications for cloud remote sensing, *J. Atmos. Sci.*, 54, 241-260, 1997.
- Davis, A., and A. Marshak, Lévy kinetics in slab geometry: Scaling of Transmission probability, in *Fractal Frontiers*, edited by M.M. Novak, and T.G. Dewey, pp. 63-72, World Scientific (Singapore), 1998.
- Gabriel, P., S. Lovejoy, D. Schertzer, and G. L. Austin, Multifractal analysis of resolution dependence in satellite imagery, *Geophys. Res. Lett.*, 15, 1373-1376, 1988.
- Imre, D. G., E.H. Abramson, and P. H. Daum, Quantifying cloud-induced shortwave absorption: An Examination of uncertainties and of recent arguments for large excess absorption, *J. Appl. Met.*, 35, 1991 - 2010, 1996.
- Kerr R. A., Darker clouds promise brighter future for climate models, *Science* 267, 554, 1995.

- Li, Z., H. Barker, and L. Moreua, The variable effect of clouds on atmospheric absorption of solar radiation, *Nature*, 376, 486-490, 1995.
- Lovejoy, S., and D. Schertzer, Multifractals, universality classes and satellite and radar measurements of cloud and rain fields, *J. Geophys. Res.*, 95, 2021-2034, 1990.
- Lovejoy, S., J. Stanway, D. Sachs, D. Schertzer, B. Watson, Multifractal Modeling and Analysis of Radiation in Clouds: 5000 km to 50 cm, Proc. of the 7th ARM meeting, pp. 327 - 335, March 3-7, San Antonio (Ca), U.S. dep. of energy, 1998.
- Marshak, A., A. Davis, R. Cahalan and W. Wiscombe, Bounded cascade models as nonstationary multifractals, *Phys. Rev. E*, 49, 55-69, 1994.
- Marshak, A., A. Davis, W. Wiscombe, and R. Cahalan, Radiative Smoothing in Fractal Clouds, *J. Geophys. Res.*, 100, 26247-26261, 1995.
- Marshak, A., A. Davis, W. Wiscombe, and R. Cahalan, Scale invariance in liquid water distributions in marine stratocumulus. Part II: Multifractal properties and intermittency issues, *J. Atmos. Sci.*, 54, 1423-1444, 1997.
- Pierrehumbert, R. T., Anomalous scaling of high cloud variability in the tropical pacific, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 10, 1095-1098, 1996.
- Pilewskie P. and Valero F. P. J., How much solar radiation do clouds absorb ?, *Science* 271, 1131-1136, 1996.
- Quante, M., O. Danne, E. Raschke, I. Popstefanijia, and A. Razmany, Observation of cloud structure with a 3.2 mm-Wave Radar, Proc. of the 12th International Conference on Clouds and Precipitation, Vol. 1, 424 - 427, 1996.
- Ramanathan V., Subasilar B., Zhang G. J., Conant W., Cess R. D., Kiehl J. T., Grassl H. and Shi L., Warm pool heat budget and shortwave cloud forcing: a missing physics ?, *Science* 267, 499-503, 1995.
- Schertzer, D., and S. Lovejoy, Physical Modeling and Analysis of Rain and Clouds by Anisotropic Scaling Multiplicative Processes, *J. Geophys. Res.*, 92, NO. D8, 9693-9714, 1987.
- Stephens G. L. and Tsay S-C, On the cloud absorption anomaly, *Q. J. R., Meteorol. Soc.* 116, 671-704, 1990.
- Van de Hulst, Multiple light Scattering Vol. 1/2, Academic Press, New York, 1980.
- Wild, M., A. Ohmura, H. Gilgen, E. Roeckner, and A. Ohmura, Improved representation of surface and atmospheric radiation budget in the ECHAM 4 general circulation model, Report 200, MPI-Meteorologie, 1996.

2.2. Bisherige Arbeiten des Antragstellers

Die Antragsteller haben zur Beantwortung dieser Fragen eine neuartige, und bisher weltweit einzigartige spektroskopische Meßtechnik entwickelt [Funk, 1996; Pfeilsticker et al., 1998a,b,c,d; Veitel et al., 1998]. Die neue Meßtechnik beruht auf einer spektroskopisch hochauflösenden Analyse der Sauerstoff A-Banden Absorptionslinien (760 nm - 780 nm) im dem vom Himmelszenit gestreuten Sonnenlicht. Aus den gemessenen Sauerstoff A-Banden Linien lassen sich entweder die Momente (Mittelwert, Varianz, höhere Momente) der Photonenweglängenverteilung oder direkt - unter gewissen Annahmen - mit Hilfe einer sogenannten Laplacetransformation die Weglängenverteilung der solaren Photonen bestimmen. Wie die kürzlich durchgeführten Messungen zeigen [Pfeilsticker et al., 1998a,c,d; Veitel et al., 1998] hängt die Photonenlängenwegverteilung charakteristisch von der Bewölkungsart (Wolkentyp, räumliche Ausdehnung der Wolken usw.) ab. Weiterhin haben unsere Forschungen gezeigt, daß entgegen der bisherigen Annahme, die Photonenweglängenverteilungen in der i.a. inhomogenen (oder besser fraktalen) bewölkten Atmosphäre mit der bisher in der Umweltforschung wenig beachteten mathematischen Klasse der sogenannten der α -stabilen (im speziellen der sogenannten Klasse der Lévy-) Verteilungsfunktionen besser beschreiben lassen.

Weiterhin läßt sich vermuten, daß der Stabilitätsindex α der Verteilung von der fraktalen Dimension der Bewölkung abhängt. Da der Stabilitätsindex α der Verteilung die atmosphärischen Weglängen der solaren Photonen charakterisiert, ist er auch maßgeblich für die atmosphärischen Heizungsraten der eingestrahlten Sonnenstrahlung.

Der Antragsteller hat auf dem Gebiet der atmosphärischen Spektroskopie langjährige Erfahrungen. Sie sind national wie international durch entsprechende Forschungsarbeiten (siehe unten) bekannt. Da das Verfahren auf der von den Antragstellern entwickelten differentiellen optischen Absorptionsspektrometrie (DOAS) aufbaut, sind bezüglich der technischen Durchbarkeit alle Voraussetzungen gegeben.

Von dem Antragstellern bzw. seiner Arbeitsgruppe wurden bisher zu dem Forschungsthema folgende begutachtete Publikationen verfaßt:

1. Erle F., Pfeilsticker K., and Platt U., On the influence of tropospheric clouds on zenith-scattered-light measurements of stratospheric species, *Geophys. Res. Lett.* 22, 2725-2728, 1995.
2. Kurz, C., Multifraktale und spektrale Charakterisierung der zeitlichen Variation Zenit-gestreuten Himmelslichts, Thesis, Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg, 1998.
3. Pfeilsticker K., Erle F. and Platt U., Absorption of solar radiation by atmospheric O₄, *J. Atmos. Sci.*, 54, 7, 939, 1997.
4. Pfeilsticker K., Erle F., Funk O., Marquard L., Wagner T., and Platt U., Optical path modifications due to tropospheric clouds: Implications for zenith sky measurements of stratospheric gases, *J. Geophys. Res.*, 103, 25323 - 25335, 1998.
5. Pfeilsticker, K., F. Erle, O. Funk, H. Veitel, and U. Platt, First geometrical path lengths probability density function derivation of the skylight from spectroscopically highly resolving oxygen A-band observations. 1. Measurement technique, atmospheric observations, and model calculations, *J. Geophys. Res.*, 103, 11483 - 11504, 1998c.
6. Pfeilsticker, K., First geometrical path lengths probability density function derivation of the skylight from spectroscopically highly resolving oxygen A-band observations. 2. Derivation of the $L\{e\}$ -index for the skylight transmitted by midlatitude clouds, *J. Geophys. Res.*, 104, 4101 - 4116, 1999.
7. Pfeilsticker, K., B. Arlander, J. Burrows, F. Erle, M. Gil, F. Goutail, C. Hermans, B. A. Hoiskar, J.C. Lambert, U. Platt, J.-P. Pommereau, A. Richter, A. Sarkissian, M. Van Roozendaal, T. Wagner, and T. Winterrath, Intercomparison of the measured influence of tropospheric clouds on UV-visible absorptions detected during the NDSC intercomparison campaign at OHP in June 1996, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 1169-1172, 1999.
8. Platt, U., L.C. Marquard, T. Wagner, and D. Perner, Corrections for zenith scattered light DOAS, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 1759-1762, 1997.
9. Savigny, C., O. Funk, U. Platt, and K. Pfeilsticker, Radiative Smoothing in zenith-scattered skylight transmitted to the ground, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 2949-2952, 1999.
10. Savigny, C., A. Davis, O. Funk, and K. Pfeilsticker, Multi-fractal characteristics of zenith-scattered skylight transmitted through optically thick clouds to the ground, *J. Geophys. Res.*, (submitted), 2000.
11. Veitel V., O. Funk, C. Kurz, U. Platt, and K. Pfeilsticker, Geometrical path length probability density function of the skylight transmitted by mid-latitude cloudy skies; Some case studies, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 3355-3358, 1998.
12. Wagner T., Erle F., Marquard L., Otten C., Pfeilsticker K., Senne Th., Stutz J., and Platt U., (1996), Cloudy sky photon path lengths as derived from DOAS observations, *J. Geophys. Res.*, 103, 25307 - 25321, 1998.

3. Arbeitsprogramm

Der Antrag bezieht sich auf die Messungen von Photonenweglängen mittels der hochauflösenden Sauerstoff A-Bandenspektroskopie und der Untersuchung von typischen 4DWolken: Institut für Umweltphysik, Heidelberg

räumlichen Skalen der Bewölkung und des Strahlungstransportes. Beide Techniken sollen im Rahmen des Vorhabens auf Feldmeßkampagnen eingesetzt werden, die zusammen mit den anderen Antragstellern organisiert und durchgeführt werden.

3.1 Hochauflösende Sauerstoff A-Bandenmessungen

Die Messung der Photonenwege stellt praktisch die Umkehrung der bekannten DOAS-Methode (Differentielle Optische Absorption Spektrometrie) dar, bei der an Stelle der Messung unbekannter Absorberkonzentrationen (bei bekannten optischen Wege) werden hier bei bekannter Absorberkonzentrationen (des atmosphärischen Sauerstoffs) die unbekanntes Wege bestimmt. Derartige Messungen wurden in den letzten Jahren mit einem hochauflösenden Gitterspektrometer an den Rotationslinien der Sauerstoff A-Bande (760 nm - 780 nm) am Institut für Umweltphysik/Universität Heidelberg erfolgreich durchgeführt [Funk, 1996; Pfeilsticker et al., 1998a,b,d; Veitel et al., 1998].

Wie die Autoren in den relevanten Publikationen dargelegt haben, läßt sich weiterhin bei einer Messung einer größeren Anzahl von Absorptionslinien mit unterschiedlicher Absorptionsstärken unter gewissen Annahmen der erste und zweite Moment (Mittelwert und Varianz) der Photonenweglängenverteilung bestimmen. Weiterhin haben neue Messungen des Autors [Pfeilsticker, 1999] sowie theoretische Überlegungen von Davis und Marshak [1998] gezeigt, daß für optisch dichte Bewölkung der mittlere Photonenweglängen $\langle L_T \rangle$ des im Zenit gestreuten und zum Erdboden transmittierten Himmelslichtes eine Funktion der vertikalen Ausdehnung der Bewölkung (H_c), der mittleren freien Weglänge zwischen zwei Miestreueereignissen (λ_{Mie}), des sogenannten Asymmetriefaktors der Miestreuung (g), sowie des Stabilitätsindex ist. Ist speziellen zeigten die Untersuchungen, daß die unter der Annahme der Monofraktalität der Photonenweglängenverteilung die durch eine Lévyverteilung mit einem charakterischen Stabilitätsindex (α) beschreiben werden kann. Ausgehend von diesem Wissen gliedert sich der Arbeitsplan folgendermaßen:

3.1.1 Neuaufbau eines hochauflösenden Spektrographen

Die Messungen der Photonenweglänge wurden bisher von unserer Arbeitsgruppe weitestgehend⁵ mit einem vom MPI-CH/Mainz geliehenen Gitterspektrographen (Focallänge 125 cm) durchgeführt. Zusammen mit der Einsatz einer Diodenzeile mit einer individuellen Diodenbreite von 25 μm erlaubt dieser Gitterspektrograph die Messung der Sauerstoff A-Bande mit einer Auflösung (?/??) von etwa 42000. Mit diesen Messungen ließen sich bisher die ersten und zweiten Momente der Photonenweglänge in Abhängigkeit der Bewölkung messen (siehe z. Bsp. Pfeilsticker et al., 1998). Durch Einsatz der schon mit eigenen Mitteln beschafften hochempfindlichen CCD Kamera (Pixelbreite 13.5 picometer) kann die Auflösung auf etwa 90000 gesteigert werden (durch Verringerung der Spaltbreite, Durchsatzverlust ein Faktor 2) bei einer gleichzeitig gesteigerten Meßempfindlichkeit (durch Vergrößerung der Spalthöhe von derzeit 0.125 cm auf 0.25 cm, i.e. ein Empfindlichkeitsgewinn von einem Faktor 4). Andererseits besitzt die CCD Kamera ein wesentlich geringeres Ausleserauschen (etwa 2 e^- /pixel, oder umgerechnet auf die Größe eines Diodenzeilenpixels 690 e^- /Diodenzeilenpixelfläche, gegenüber etwa 25000 e^- /Diode

⁵ Zusätzlich wurde in jüngster Zeit ein neues feldgängiges Gitterspektrometer entwickelt und in Lindenberg/Brandenburg im Juni 1998, und in ARM/Oklahoma im März 2000 erfolgreich eingesetzt. Allerdings besitzen beide Spektrometer eine letztlich nur knapp ausreichende Auflösung von etwa 19 pm (notwendig wäre eine Auflösung ?/?? von ungefähr 170000), so daß die bisher verwendeten Gitterspektrographen einen Verlust an spektraler Information, bzw. durch den begrenzten Spektralbereich mit sich bringen, die es aber unmöglich machen die höheren Momente (größer als 2) der Photonenweglängenverteilung zu bestimmen.

der Diodenzeile) bei etwa gleicher Photonen zu Elektronenkonversionseffizienz. Da bisher das Signal zu Rauschverhältnis (S/N) durch das Ausleserauschen bestimmt wurde läßt sich bei erwünschtem gleichem (S/N) wie bisher die Meßzeit durch den Einsatz der CCD Kamera um mindestens einen Faktor $(4 \cdot \sqrt{25000}) / (2 \cdot \sqrt{690}) = 12$ verringern, bei einer gleichzeitig um einen Faktor 2 gesteigerten Auflösung. Das heißt auch bei gleichem S/N kann die Integrationszeit von heute 900 sec auf 75 sec verringert werden.

Der 1. technische Schritt ist daher den bisher benutzten Spektrographen mit der neu beschafften CCD zu betreiben, d.h. die CCD ist an den Spektrographen zu befestigen, zu justieren und die gelieferte CCD Treibersoftware für den geplanten Einsatz entsprechend umschreiben.

Da der ganze optische Meßaufbau sehr empfindlich auf mechanische Störungen reagiert und weiterhin etwa 550 kg wiegt (Spektrograph mit Thermostatisierung, CCD Kamera mit Steuerung, und optischer Tisch) und andererseits das Instrument bei Feldkampagnen eingesetzt werden soll, ist es äußerst ratsam in einem 2. Schritt den ganzen Meßaufbau fest in einen transportablen Container (siehe Antrag) zu integrieren.

Diese Arbeiten werden geschätzt (je nach Güte des Doktoranden) etwa 1 Jahr dauern und sollten zu Beginn der ersten Meßkampagne (im Sommer 2001) abgeschlossen sein.

In einem 3. Schritt ist die Teilnahme an zwei Feldmeßkampagnen vorgesehen, die mit den Partnern des Gemeinschaftsantrages zusammen organisiert werden.

3.1.2 Datenaufbereitung und Interpretation

Zusätzlich zu der bisher am IUP schon vorhandenen Auswertesoftware die auf einer 1024 Diodenzeilenpixeltechnologie basiert, muß die Auswertesoftware in einem 1. Schritt auf den vergrößerten Datenrahmen der CCD Kamera umgeschrieben werden. Dazu gehört insbesondere die Berücksichtigung der vergrößerten Pixelmenge (2500) eines Spektrums mit einer, entsprechend vergrößerten Spektralbereich und einer vergrößerten spektralen Auflösung, wie aber auch die korrekte Abbildung bzw. Koaddition der Pixel der sichelförmigen Abbildung des Fokus der Spektrallinie auf der CCD Kamera.

In einem 2. Schritt muß die nichtlineare Spektrenfitsoftware auf das neue Datenformat angepaßt werden.

In einem 3. Schritt gilt es die während der Meßkampagne gemessenen Spektren nach den unterschiedlichen Momenten der Photonenwege auszuwerten.

In einem 4. Schritt (Dateninterpretation) sollen die gemessenen und abgeleiteten Photonenwege bzw. ihre höheren Momente in Bezug auf die Messungen anderer wolkenphysikalischer Parameter (LWP, LWC, cloud top, bottom, type, etc) analysiert werden.

In einem 5. Schritt sollen die Meßdaten zusammen mit dem Antragsteller (Uni Mainz) mit Hilfe eines MC Modells interpretiert werden.

Die hier geschilderten Schritte 1 → 5 werden sicher große Teile der Projektjahre 2+3 in Anspruch nehmen.

Abschließend kann man sagen, daß die in Kapitel 3.1.1 und 3.1.2 geschilderten Arbeiten von Doktoranden am IUP routinemäßig durchgeführt werden, bzw. von wissenschaftlichen Personal betreut werden. Es sollten daher keine wesentlichen Schwierigkeiten bei den Arbeiten auftreten. Andererseits erfordert der Arbeitsaufwand jedoch, daß sich ein Doktorand ausschließlich um diese Arbeiten kümmert (siehe Kapitel 6.).

3.2 Untersuchung der typischen Skalierungseigenschaften der Bewölkung und des Strahlungstransportes

Die spektroradiometrischen Messungen werden mit selbstgebauten Radiometern am IUP seit 1998 routinemäßig durchgeführt und im Hinblick auf ihre Skalierungseigenschaften bzw. multifraktalen Eigenschaften untersucht, analysiert, und interpretiert (Savigny et al. 1999,

2000). Für die radiometrischen Messungen im Rahmen dieses Vorhabens werden zwei baugleiche schnelle, und flugfähige Radiometer benötigt, die von einem Doktoranden im Eigenbau aufgebaut und eingesetzt werden sollen. Im einzelnen fallen dabei in einem 1. Arbeitsschritt folgende Arbeiten an:

- Design und Bau der Radiometer
- Installation und Inbetriebnahme der Treibersoftware des schnellen ADC
- Integration in ein im Rahmen des Vorhabens eingesetzten Meßflugzeug

Die für die Analyse der Meßdaten notwendigen Software ist bereits vorhanden.

Die Schwierigkeit und Zeitwand dieser Untersuchung liegt in der theoretischen Interpretation der Meßreihen, die in einem 2. Arbeitsschritt von dem durchführenden Doktoranden in Angriff genommen werden soll. Die während den Feldmeßkampagnen am Boden aufgezeichneten gleichzeitigen Meßreihen von Streulichtradianz und Mikrowellendaten (LWP; Uni Bonn) sollen insbesondere bezüglich ihrer statischen Eigenschaften, wie 'roughness', Intermittenz und räumlichen/zeitlichen Skalierungseigenschaften untersucht werden. Die gleiche Analyse soll mit den während der Flugmeßkampagnen gewonnen Streulichtradianzdaten durchgeführt werden.

In einem 3. Arbeitsschritt sollen schließlich die gefundenen statischen Eigenschaften der Himmelsstreulichtradianzen einerseits

- im Hinblick auf die Mittelungsproblematik des Strahlungstransportes in Klimamodellen bezüglich einiger makroskopischer Eigenschaften von Bewölkung, wie der Art, Bedeckungsgrad, Wolkenalbedo, Absorption, und Transmission, usw. untersucht werden (zusammen mit IPA),

und andererseits

- sollen sie im Hinblick die typischen Skalierungseigenschaften der Wolkenbildung und des Strahlungstransportes untersucht und interpretiert werden.

3.3 Das ,working package 3200'

Der Antragsteller koordiniert das ,working package' 3200 STP-Validierung/Verbesserung – anomale Absorption im Rahmen des Verbundprojektes mit den beteiligten Institutionen (IfM, IPA, und IUP-HD).

Die Aufgaben dieses ,working packages' 3200 gliedern sich eigentlich in zwei Teilaufgaben: Untersuchung und Quantifizierung des Einflusses der Verteilung von Photonenweglängen auf die atmosphärische Absorption der solarer Strahlung sowie die Modellierung von gemessenen Sauerstoff A-Bandenspektren. Diese Teilaufgabe wird im Verbund zum einen mit diesem Teilprojekt (IUP-HD) näher untersucht (s.o.), und zum anderen durch umfangreiche Untersuchungen des Einflusses von Wolkenmorphologie und Wolkeninhomogenität auf die Strahlungsheizung mit Hilfe von MC Modellen des IPA und IFM sowie des SHDOM Modell des IPA's.

Im Verlauf dieses Vorhabens sollen diese beiden Ansätze folgendermaßen wechselwirken: Zum einen sollen mit den Modellen MC (Monte Carlo) und SHDOM des IPA's die Photonenweglängenverteilungen sowie die Strahlungsabsorption modelliert werden. Die Ergebnisse der MC und SHDOM Modellierung werden auch als Grundlage für eine theoretische Prüfung für das bei der Messung der Photonenweglängen notwendigerweise angenommene Funktional der PDF (probably density function)⁶ der Photonenwege dienen. Zum anderen soll man versucht werden, mit Hilfe zweier MC Modelle die gemessenen Sauerstoff A-Bandenspektren des Himmelstreulichtes zu modellieren (IfM).

⁶ üblicherweise wird bei planparalleler homogener Bewölkung davon ausgegangen, das die PDF durch eine Gammafunktion dargestellt werden kann. Diese Annahme ist aber bei inhomogener und durchbrochener Bewölkung i.a. nicht mehr gerechtfertigt (siehe z. Bsp. Davis and Marshak, 1998; Pfeilsticker, 1999)

Zum anderen ist Frage nach der atmosphärischen Absorption solarer Strahlung eine Frage nach der Absorbierbarkeit. Diese Frage kann aus Mittelgründen im Rahmen dieses Vorhabens nur am Rande tangiert werden, denn dazu sind einerseits umfangreiche spektroskopische sowie theoretische Arbeiten notwendig. Der Antragsteller ist jedoch im Rahmen anderer Verpflichtungen an solchen Forschungsarbeiten beteiligt, und die dabei möglicherweise entstehenden Ergebnisse werden in das beantragte Vorhaben einfließen.

Weiterhin sollen mit den SHDOM und Monte Carlo Modellen des IPAs die gemessenen Zenitradianzen des IUP-HD modelliert werden. Als Eingangsdaten dienen hierbei die bei den Meßkampagnen gleichzeitigen Messungen des LWP der Uni Bonn, sowie die mit dem Radar gemessenen Wolkenstrukturdaten der GKSS.

3.3 `Milestones`

Als Termin für den Projektbeginn wird der 1.10.2000 beantragt. Dieser Termin ist zeitkritisch, weil ansonsten die Vorbereitung des für August/September 2001 geplanten Feldexperimentes nicht mit der notwendigen Sorgfalt erfolgen kann. Der Termin für das Feldexperiment ist durch die Kopplung von 4DWOLKEN mit CLIWA-NET vorgegeben und kann nicht verschoben werden. Deshalb wird ein Projektbeginn am 1.10.2000 als vordringlich angesehen.

Erstes Förderjahr

Das erste Förderjahr wird hauptsächlich durch die Vorbereitung und (gegen Ende) durch das Feldexperiment in Holland (Cabauw) bestimmt (siehe Kapitel 3.1 und 3.1). Dafür ist eine intensive Abstimmung zwischen den bei 4DWOLKEN beteiligten Projektpartnern aber auch mit den Teilnehmern von CLIWA-NET notwendig. Absprachen müssen getroffen werden bzgl. der Meßstrategie, der Datenauswertung und des späteren Datenvergleichs und -austausches.

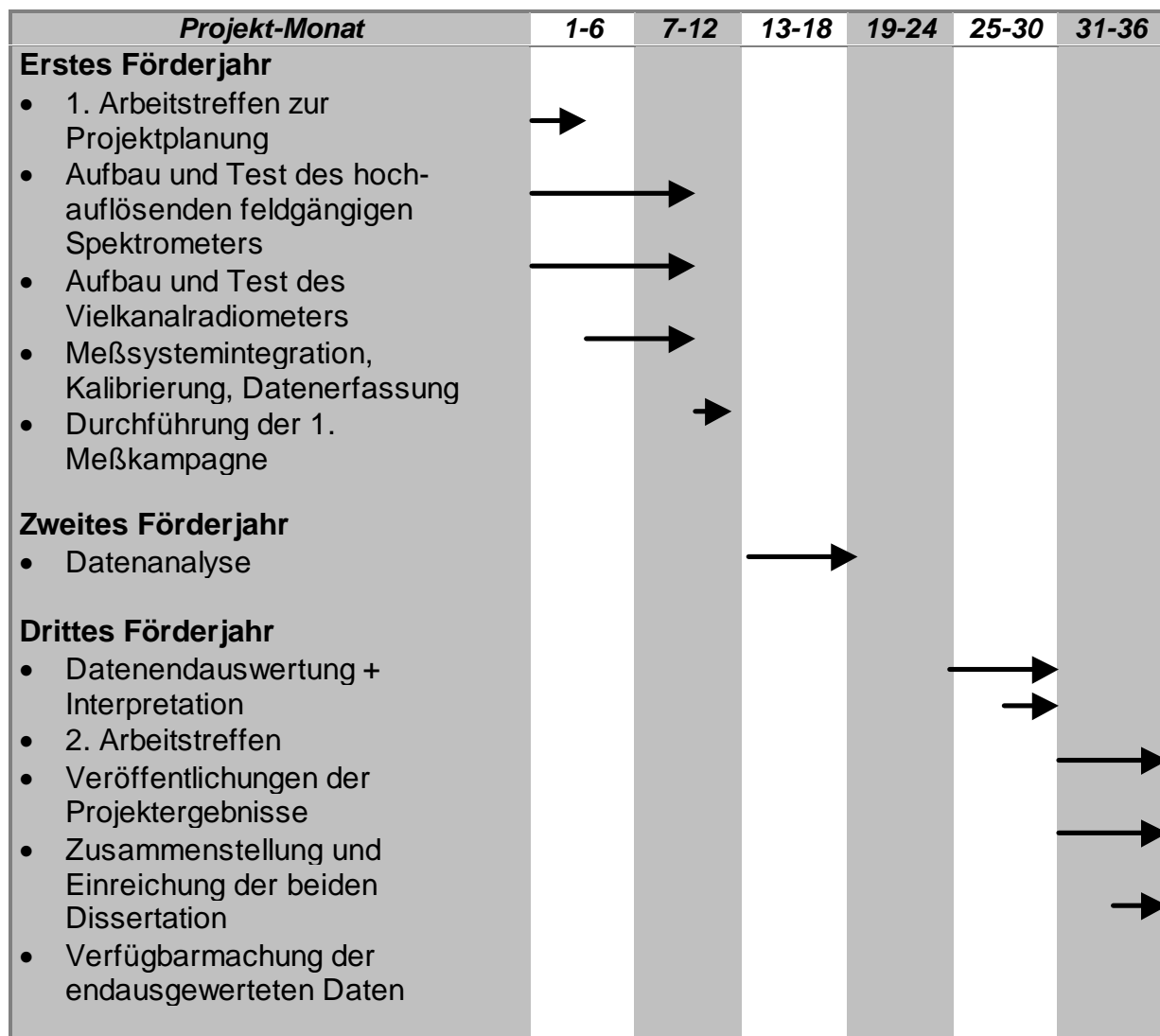
Zweites Förderjahr

Im zweiten Förderjahr liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Auswertung der im Feldexperiment gewonnenen Daten und der Bereitstellung dieser für die anderen Projektteilnehmer.

Drittes Förderjahr

Im dritten Jahr der Förderung wird die Endauswertung der Daten, die Interpretation und Publikation der gewonnenen Ergebnisse im Mittelpunkt der Arbeiten stehen.

Balkenplan:



4. Verwertungsplan

4.1 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Angesichts der langjährigen Erfahrung bei der logistischen Planung und Durchführung von spektroskopischen Messungen bei zahlreichen Feldmeßkampagnen (z. Bsp. von Langpfadabsorptionmessungen und hochauflösende Sauerstoff A-Bandenmessungen des Himmelstreulicht vom Erdboden aus, spektroskopische Messungen vom Flugzeug/Transall, von stratosphärischen Ballonen, und vom Satellit/GOME aus) — dokumentiert in zahlreichen international begutachtet Publikationen des Antragstellers, kann man davon ausgehen, daß die geplanten Feldmessungen mit den teilweise überarbeiteten Apparaturen erfolgreich durchgeführt werden. Es ist mit einem verlässlichen Datensatz und seiner Interpretation zu rechnen.

4.2 Wissenschaftliche Anschlußfähigkeit

Im Rahmen des Forschungsvorhaben werden sicher zahlreiche neue wissenschaftliche Ergebnisse entstehen, die wie schon in der Vergangenheit in internationalen begutachteten

Zeitschriften publiziert werden (siehe Kapitel 2.2). Weiterhin dient das Forschungsvorhaben auch dazu eine Reihe interessanter Diplom- und Doktorarbeiten mit neuen Forschungsergebnissen zu erstellen. Selbstverständlich werden die gemeinsam entstandene Forschungsergebnisse der 4DWOLKEN-Partnern bzw. von Untergruppen bzw. teilweise an den Feldmeßkampagnen beteiligten CLIWA-NET Partnern auch gemeinsam publiziert.

5. Zusammenarbeit mit Dritten

Das beantragte Vorhaben ist Bestandteil des Verbundprojektes 4DWOLKEN. Die Zielstellung dieses Verbundprojektes kann nur in koordinierter Zusammenarbeit der beteiligten Forschungsgruppen erreicht werden. Der vorliegende Projektantrag trägt zu 4DWOLKEN hauptsächlich durch die Bereitstellung von Messungen der Photonenweglängenverteilung, sowie der statistischen Eigenschaften der Bewölkung und des Strahlungstransportes bei. Diese Messungen werden von den anderen Teilnehmern an 4DWOLKEN benutzt als Eingabewerte für detaillierte mehrdimensionale Strahlungs- bzw. wolkendynamische Modellberechnungen.

Durch die angestrebte Kombination von 4DWOLKEN und CLIWA-NET werden weitere synergetische Effekte durch eine gezielte Zusammenarbeit zwischen beiden Projekten möglich. So können die Flugzeug-getragenen mikrophysikalischen Wolkenmessungen innerhalb des vorgeschlagenen Projektes zur Verifikation der Boden-gebundenen Flüssigwasserpfad (LWP) Messungen mit passiven Mikrowellensensoren innerhalb von CLIWA-NET benutzt werden. Auf der anderen Seite liefern die quasi-kontinuierlichen Mikrowellenmessungen vom Boden Angaben über die zeitliche Variation der mikrophysikalischen Wolkenparameter und damit über die mehrdimensionale Wolkenstruktur. Diese Information können u.a. dazu benützt werden die statischen Eigenschaften der LWP mit den Himmelsradianzen zu vergleichen, bzw. zu verknüpfen. Weiter können die Information über die Wolkenstruktur und Aufbau die mit den Radargeräten vermessen werden, als Eingangsdaten für die Interpretation der Photonweglängenmessungen dienen.

Darüber hinaus bestehen enge Kontakte zu international angesehenen Wissenschaftlergruppen, die auf dem Gebiet der Wolkenmikrophysik bzw. der Strahlungsmessungen und –berechnungen weltweit führend sind

- (1) Prof. Raschke (GKSS)
- (2) Prof. R. Guzzi, CNR Bologna, Italien
- (3) Prof. W. Wiscombe und A. Marshak, NASA, Goddard, USA
- (4) Dr. A. Davis, Los Alamos, USA
- (5) Dr. Susan Solomon, NOAA Boulder, USA
- (6) Dr. Rod Jones, Uni Cambridge, UK