

Dr. Andreas Macke
Institut für Meereskunde an der
Universität zu Kiel (IfMK)
Düsternbrooker Weg 20
D-24105 Kiel
Tel.: 0431-597-3875
FAX: 0431-565876
email: amacke@ifm.uni-kiel.de

Vorhabensbeschreibung zum Thema:

4D Bewölkung der unteren Atmosphäre (4DWOLKEN): Parametrisierung der Strahlungsfelder inhomogener Bewölkung

1. Ziele

1.1 Gesamtziel des Vorhabens

Das beantragte Vorhaben ist Bestandteil des Verbundprojektes 4DWOLKEN. Im Rahmen von 4DWOLKEN wird die Rolle der hohen raumzeitlichen (4D = 4-dimensionalen) Variabilität von Wolken in der Beschreibung von Austauschprozessen in der unteren Atmosphäre behandelt. Dabei wird eine umfassende Synergie von theoretischen und experimentellen Arbeiten angestrebt, ohne die ein echter Fortschritt in der Behandlung von Transportprozessen in Wolken nicht zu erwarten ist. Hauptziel des vorliegenden Teilprojektes ist es, den Zusammenhang zwischen reflektierten/emittierten Strahldichten inhomogener Bewölkung und den zugehörigen physikalischen Wolkeneigenschaften herzustellen um damit die großskalige satellitengetragene Erfassung der bewölkten Atmosphäre zu verbessern. Im Vordergrund steht die Erfassung des vertikal integrierten Wolkenwassers als bedeutendste Komponente des Energie- und Wasserhaushaltes. Hierzu werden Monte Carlo Strahlungstransportmodelle (MC-STP-Modelle) für den solaren und thermischen Spektralbereich entwickelt und auf gemessene und modellierte 4-dimensionale Wolkenfelder angewandt. Die im Verbundvorhaben von den Projektpartnern beantragten Wolkenmessungen sind an den Intensivphasen des EU-Projektes CLIWA-NET angegliedert und lassen einen einmaligen Datensatz der 4-dimensionalen Wolkenstruktur erwarten. Ergänzt werden diese Daten durch umfangreiche Wolkenrealisierungen mittels wolkenauflösender kleinskaliger atmosphärischer Modelle. Mittels statistischer Verfahren wird die Korrelation zwischen Strahlungsfeld und Wolkeneigenschaft (Flüssigwasserpfad, optische Dicke, Teilchengröße, Grad der Inhomogenität), sowie deren Güte ermittelt. Als konkrete Anwendung hiervon ist die Entwicklung und Validierung von Fernerkundungsalgorithmen fuer aktuelle Satellitenradiometer geplant.

1.2 Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen (Förderprogramm)

Die vorgeschlagenen Arbeiten fallen in den Bereich der „*Verbesserung des Systemverständnisses der Atmosphäre*“ und zwar in Bezug auf den „*Vertikaltransport in der Troposphäre: Wechselwirkungen mit Energie- Wasser- und Spurenstoffkreisläufen*“. Die direkten Bezugspunkte sind dabei:

- Wechselwirkung zwischen Vertikaltransporten in der planetaren Grenzschicht sowie dem Impuls-, Energie- Wasser- und Stoffhaushalt
- Transportprozesse zwischen planetarer Grenzschicht und der freien Troposphäre unter besonderer Berücksichtigung von Wolkenbildung und Strahlungshaushalt

Ein weiterer Bezug besteht hinsichtlich des AFO2000 Konzeptpapiers, in dem dem *Strahlungstransport in der bewölkten Atmosphäre aufgrund großer unverstandener*

Diskrepanzen zwischen experimentellen Ergebnissen und der modellmäßigen Beschreibung eine besondere Wichtigkeit bescheinigt wird (S. 1).

1.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens

Die im folgenden genannten Projektpartner und Arbeitspakete beziehen sich auf die Struktur des Verbundantrages, wobei hier nur diejenigen Arbeitspakete erwähnt sind, an denen der Antragsteller (Institut für Meereskunde an der Universität zu Kiel, im folgenden IfMK) direkt beteiligt ist.

a) Wissenschaftliche Ziele

- Entwicklung von MC-STP-Modellen für den thermischen Spektralbereich:
Zunächst soll ein am IfMK entwickeltes STP-Modell zur Berechnung von Strahldichten im Mikrowellenbereich (Helligkeitstemperaturen) zwecks Anwendung auf den thermischen Spektralbereich modifiziert werden. Da die hier verwendete Variante der Monte Carlo Methode (backward Methode) zur Berechnung der Strahlungsflussdichten wenig effizient ist, wird darüberhinaus ein komplementäres MC-STP-Modell (forward-Methode) entwickelt. (Projektpartner IPA, MIUB). (Arbeitspaket 3100)
- Realisierung 4-dimensionaler Wolkenfelder:
Das nichthydrostatische 3-dimensionale Atmosphärenmodell GESIMA soll mit realistischen Randbedingungen angetrieben kleinskalige (ca. 1km horizontale Auflösung) 4-dimensionale (drei Raumdimensionen und zeitliche Entwicklung) Wolkenstrukturen berechnen. Antriebsdaten ergeben sich aus einem globalen Datensatz von Radiosondenaufstiegen, sowie aus entsprechenden Daten des am GKSS Forschungszentrums betriebenen Regionalmodells. Die modellierten Wolkeneigenschaften werden unter Zuhilfenahme experimentell gewonnener Beziehungen zwischen Flüssigwassergehalt und Form der Tröpfchenspektren in strahlungstransportrelevante Größen (Extinktion, Einfachstreuabdo, Streufunktion) umgerechnet. Eine weitere Quelle 4-dimensionaler Wolkenstrukturen wird das vom Projektpartner TUD zu entwickelnde statistisch-dynamische Modell zur Generation von Wolkenfeldern aus Radiosonden- und Satellitenmessungen erbringen (Projektpartner: GKSS, IfT, TUD, MIUB). (Arbeitspaket 2200)
- Berechnung der Strahlungsfelder (solar und thermisch) für gemessene und modellierte inhomogene Wolken:
Die vorab entwickelten und validierten STP-Modelle sollen auf die berechneten Wolkenrealisierungen angewendet werden um die zugehörigen solaren und thermischen Strahlungsfelder zu erhalten. Dies liefert die Datenbasis für das Hauptziel dieses Teilprojektes (Projektpartner: GKSS, IfT, FUB). (Arbeitspaket 3300)
- Vergleich zwischen gemessenen und modellierten Strahlungsfeldern:
Die flugzeuggetragenen Messungen der spektral hochaufgelösten Strahldichten sowie die Bodenmessungen der Photonenweglängenstatistik sollen unter Verwendung der zur Verfügung stehenden Wolkeninformationen (Radar, Mikrowellenradiometer, Flugzeugmessungen, ...) simuliert werden um Schwächen in der STP-Modellierung bzw. in der experimentellen räumlichen Erfassung der Wolkenstrukturen zu erfassen. (Projektpartner: IfT, GKSS, IUP, FUB, IUP). (Arbeitspaket 3200)
- Korrelation der reflektierten solaren und emittierten thermischen Strahlungsfelder mit den relevanten physikalischen Eigenschaften 3-dimensionaler Bewölkung:

Dieser letzte und aufwendigste Arbeitspunkt dient der Entwicklung von Fernerkundungsverfahren. Hierbei sollen statistische Regressionen zwischen den (bi-)direktionalen Strahldichten und den zugehörigen Wolkengrößen wie optische Dicke,

Flüssigwasserpfad etc. hergestellt werden (Projektpartner IPA, TUD). (Arbeitspaket: 2100 und 3300)

b) Technische Ziele

- Optimierung und numerische Validation des existierenden MC-STP-Modelles für den solaren Spektralbereich:

Hier wird u.a. die Parallelisierung und Installation des STP-Modelles auf den Parallelrechnern des HLRZ Berlin angestrebt. Die numerische Validation des Modelles soll durch die Teilnahme am Modellvergleichsprojekt "*Intercomparison of 3D Radiation Codes*" (I3RC), sowie durch interne Vergleiche mit den MC-STP-Modellen des IPA gesichert werden (Projektpartner IPA). (Arbeitspaket 3100)

2. Stand der Wissenschaft und Technik; bisherige Arbeiten

2.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Die Berücksichtigung inhomogener Bewölkung in der Behandlung des Strahlungstransportes hat in den letzten Jahren einen hohen Stellenwert gewonnen, begünstigt durch die rasante Leistungssteigerung moderner Rechner und die damit verbundene Durchführbarkeit komplexer Strahlungstransportsimulationen. Die bislang durchgeführten Arbeiten zum Strahlungstransport in inhomogener Bewölkung waren im wesentlichen durch folgende Problemstellungen motiviert:

- Numerische Behandlung des 3-dimensionalen Strahlungstransportes.
- Abhängigkeit der Strahlungsbilanz vom Grad der Wolkeninhomogenität.
- Fehler in der STP-Modellierung durch die Vernachlässigung horizontaler Transporte (Independent Pixel Approximation IPA).
- Erhöhte Absorption in inhomogener Bewölkung im Vergleich zu homogenen planparallelen Wolken.
- Parametrisierung der Strahlungsfelder in Abhängigkeit der mittleren Wolkeneigenschaften.

Die numerische Handhabung der 3-dimensionalen STP-Modellierung kann mittlerweile als unkritisch betrachtet werden. Sowohl die Erweiterung klassischer Lösungsansätze (z.B. Evans, 1998) als auch die direkte Simulation der Photonenwege (z.B. Marchuk, 1980) liefern für gleiche Extinktionsfelder nahezu die gleichen Ergebnisse. Dies wurde in der ersten Phase eines internationalen Modellvergleichsprojektes, an dem der Antragssteller teilgenommen hat, demonstriert. Nähere Informationen hierzu finden sich im Internet unter <http://climate.gsfc.nasa.gov/I3RC/01.intro.html>.

Mit Hilfe dieser Modelle konnte gezeigt werden, dass die bisher verwendete Idealisierung planparalleler homogener Wolken im STP-Modell zu einer deutlichen Überschätzung der reflektierten solaren Strahldichten und damit auch der Wolkenalbedo führt (z.B. Cahalan et al., 1994; Di Girolamo et al., 1998)). Gleichwohl sind die bisherigen Ergebnisse zu diesem Thema eher qualitativer Natur. Aus Mangel an realistischen 3-dimensionalen Wolkenfeldern werden STP-Modelle zumeist auf künstlich erzeugte Wolkenstrukturen angewendet. Diese beruhen auf stochastischen Methoden wie z.B. der sogenannten 1- und 2-dimensionalen Kaskadenmodelle (z.B. Marshak, 1994), berücksichtigen aber weder die komplette räumliche Struktur der Wolke noch deren mikrophysikalischen Eigenschaften wie z.B. die Tröpfchengröße. Stochastische Wolkenrealisierungen lassen sich zwar so einstellen, dass ihre räumlichen 1- und 2-dimensionalen statistischen Eigenschaften denen tatsächlicher Wolken entsprechen, aber es ist zweifelhaft, ob sich die 3-dimensionale Struktur realer Wolken durch

diese Modelle zufriedenstellend wiedergeben lässt. So ist weder die zeitliche Entwicklung noch die thermodynamisch bedingte vertikale Struktur in stochastischen Modellen berücksichtigt.

Eine Alternative zur Konstruktion realistischer Wolkenfelder liefert die Analyse räumlich hochaufgelöster Satellitenmessungen (z.B. Barker und Davies, 1992; O'Hirok und Gautier 1998a und b). Allerdings ist hier die vertikale Struktur der Bewölkung ebenfalls nicht bekannt bzw. kann nur indirekt aus Radiosondenmessungen grob abgeschätzt werden. Außerdem liefert die Satellitenmessung aufgrund von horizontalen Strahlungstransporten zwischen benachbarten Wolkenelementen nur einen geglätteten und damit verfälschten Zustand der tatsächlichen Wolkenstruktur (Marshak et al. 1995).

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß die Aussagekraft der bisherigen Arbeiten unter der Repräsentierbarkeit der verwendeten Wolkenstrukturen leidet. Es wird in diesem Vorhaben daher angestrebt, diesem Misstand durch die Anbindung der STP-Modellierung an Ergebnisse der dynamischen Wolkenmodellierung und der Wolkenmessung (in-situ, Satellit und Bodenfernerkundung) zu beheben.

Dynamische Wolkenmodelle liefern 4-dimensionale Wolkenstrukturen nahezu aller physikalischen Parameter wie Flüssigwasser, Eiswasser und Feuchte. Eine Kombination von Wolkenradar-, Mikrowellenradiometer-, Satelliten- und in situ-Messungen ist in der Lage, für einige Situationen tatsächliche räumliche Strukturen des Flüssigwassers zu bestimmen.

Zitierte Literatur:

- Barker, H. and J. A. Davies, 1992: Solar radiative fluxes for broken cloud fields above reflecting surfaces. *J. Atmos. Sci.*, 49, 749-761.
- Cahalan, R. F., W. Ridgway, W. Wiscombe, T. Bell and J. Snider, 1994: The Albedo of Fractal Stratocumulus Clouds *J. Atmos. Sci.*, 51, 2434-2455.
- Di Girolamo, L., T. Varnai and R. Davies, 1998: Apparent breakdown of reciprocity in reflected solar radiances *J. Geophys. Res.*, 103, 8795-8803.
- Evans, K. F., 1998: The spherical harmonic discrete ordinate method for three-dimensional atmospheric radiative transfer. *J. Atmos. Sci.*, 55, 429-446.
- Marchuk, G. I., G. A. Mikhailov, R. D. Nazareliev, R. A. Darbinjan, B. A. Kargin, and B. S. Elepov, 1980: *The Monte Carlo Methods in Atmospheric Optics*, Springer-Verlag.
- Marshak, A., A. Davis A., R. Cahalan, and W. Wiscombe, 1994: Bounded cascade models as nonstationary multifractals, *Phys. Rev. E*, 49, 55-69.
- Marshak, A., A. Davis, W. Wiscombe, R. Cahalan, 1995: Radiative smoothing in fractal clouds, *J. Geophys. Res.*, 100, 26247-26261.
- O'Hirok, W. and C. Gautier, 1998a: A three-dimensional radiative transfer model to investigate the solar radiation within cloudy atmospheres. Part I: Spatial effects, *J. Atmos. Sci.*, 55, 2162-2179.
- O'Hirok, W. and C. Gautier, 1998b: A three-dimensional radiative transfer model to investigate the solar radiation within cloudy atmospheres. Part II: Spectral effects, *J. Atmos. Sci.*, 55, 3065-3076.

2.2 Bisherige Arbeiten des Antragstellers

Der Antragsteller verfügt über langjährige Erfahrung in der Strahlungstransportmodellierung und Fernerkundung von Wolken. Die Schwerpunkte seiner Arbeit liegen auf der Behandlung nicht-sphärischer Partikel und der Berücksichtigung inhomogener Wolkenstrukturen. Seine Arbeiten zur Lichtstreuung an atmosphärischen Eiskristallen wurden im Fernerkundungsschema des *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP) eingebaut, dienen als Grundlage für eine Strahlungsparametrisierung in Klimamodellen und waren Gegenstand zahlreicher Arbeiten zur Fernerkundung von Cirruswolken.

Die Behandlung der räumlichen Struktur von Wolken im Strahlungstransport wurde vom Antragsteller bereits 1995 begonnen. Hierbei wurden sogenannte "Zellulare Automaten"-Modelle zur Konstruktion 4-dimensionaler Wolkenfelder verwendet. Erst in jüngerer Zeit werden Ergebnisse von Wolkenmodellen für den Strahlungstransport benutzt. Bislang wurde

der Einfluss räumlich variabler Streueigenschaften und der horizontal inhomogenen Wasserdampfverteilungen auf die reflektierten, transmittierten und absorbierten Strahlungsflüsse untersucht. Der Antragsteller ist aktiv am internationalen Modellvergleichsprojekt I3RC (Mitglied des Planungsausschusses) und am EU-Vorhaben CLIWA-NET beteiligt. Im folgenden sind einige für das hier beantragte Vorhaben relevante Arbeiten aufgelistet.

- Bremen, v. L., E. Ruprecht, A. Macke: Errors in liquid water path retrieval arising from cloud inhomogeneity, Meteorol. Z. (submitted).
- Macke, A., R. Dlhopsky, J. Müller, R. Stuhlmann, R. and R. Raschke, 1995: A study on bidirectional reflection functions for broken cloud fields over ocean, Adv. Space Res., 16, 50-58
- Macke, A. J. Müller, K. Nagel, K. and R. Stuhlmann, 1997: A cellular automaton model for cloud formation: Radiative Properties, "IRS'96: Current Problems in Atmospheric Radiation, A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia", "234-237.
- Macke, A. and M. Grossklaus, 1998: Light Scattering by nonspherical raindrops: implications for lidar remote sensing of rainrates, J. Quant. Spectrosc. Rad. Trans., 60, 355-363.
- Macke, A. D. Mitchell, D. and L. von Bremen, 1999: Monte Carlo radiative transfer calculations for inhomogeneous mixed phase clouds, Phys. Chem. Earth, 24, 237-241.
- A. Macke, 2000: Monte Carlo calculations of light scattering by large particles with multiple internal inclusions, in "*Light scattering by nonspherical particles*, Academic Press", 309-322.
- Scheirer, R. and A. Macke, 2000: Influence of the gaseous atmosphere on solar fluxes of inhomogeneous clouds, Phys. Chem. Earth, 25, 73-76.

3. Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans

3.1 Vorhabensbezogene Planung

Arbeitspaket 2100: **Experiment** (koordiniert durch IfT)

Der Antragsteller hat im Rahmen des EU-Vorhabens CLIWA-NET die Aufgabe, Flüssigwasserpfade aus Satellitenmessungen im solaren, thermischen und Mikrowellenbereich mittels klassischer Verfahren zu ermitteln und mit Bodenmessungen während der Messkampagnen zu vergleichen. Daher bietet es sich an, die im Rahmen dieses 4DWOLKEN-Teilprojektes zu erstellenden Fernerkundungsverfahren in die CLIWA-NET Aktivitäten einfließen zu lassen. Hierdurch wird es möglich, den Einfluss der Wolkeninhomogenität auf die fernerkundeten Flüssigwasserpfade abzuschätzen.

Arbeitspaket 2200: **4D-Wolkenanalyse** (koordiniert durch MIUB)

Parallel zur experimentellen Erfassung der Wolkenstrukturen werden mit Hilfe des nichthydrostatischen Atmosphärenmodells GESIMA eine Vielzahl von 4-dimensionalen Wolkenszenarien realisiert. Die Ergebnisse dienen hauptsächlich als Eingangsgrößen für MC-STP-Rechnungen, werden aber auch dahingehend analysiert, den Zusammenhang zwischen den

Antriebsdaten und der resultierenden Wolkeninhomogenität zu untersuchen. Antriebsdaten sind mittlere Temperatur-, Druck- und Feuchtefelder, wobei zusätzlich Feuchtestörungen in das Modellgebiet eingebaut werden, um lokale Konvektionsprozesse zu simulieren. Konvektion soll ausserdem durch heterogene Oberflächentemperaturverteilungen angeregt werden. Die Antriebsdaten entstammen einem globalen Datensatz von Radiosondenaufstiegen, sowie den REMO-Simulationen des Projektpartners GKSS.

Zur Umrechnung der Wolkenmodellergebnisse in strahlungstransportrelevante Größen (Extinktion, Einfachstreueralbedo, Streufunktion) ist im Prinzip die Kenntnis der Partikelgrößenverteilungen nötig. Da die zur Verfügung stehenden Wolkenmodelle Größenverteilungen nicht prognostizieren, muss nachträglich aus den zur Verfügung stehenden Daten die Teilchengröße diagnostiziert werden. Hierzu soll aus experimentell

gewonnenen Grössenverteilungen für verschiedene Wolkentypen der Zusammenhang zwischen Flüssigwassergehalt und mittlerem Tröpfchenradius ermittelt werden.

4-dimensionale Wolkenfelder werden auch im Rahmen dieses Vorhabens vom Projektpartner TUD bestimmt und sollen mit in den Wolkendatensatz einfließen. (Projektpartner: IfT, TUD)

Arbeitspaket 3100: **3D-STP-Modellentwicklung (exakt)** (koordiniert durch IfMK)

Innerhalb dieses Arbeitspaketes werden MC-STP-Modelle sowohl für den solaren als auch für den thermischen Spektralbereich entwickelt. Da die Bestimmung der solaren Strahlungsfelder rechenzeitintensiv ist, wird das am IfMK entwickelte solare STP-Modell GRIMALDI am Höchstleistungsrechenzentrum Berlin auf Parallelbetrieb eingestellt. Ein entsprechender Antrag zur Rechnernutzung ist bereits genehmigt. Die numerische Validation des Modelles soll durch die Teilnahme an den Phasen 2 und 3 des Modellvergleichsprojektes "Intercomparison of 3D Radiation Codes" Ende 2001 und Ende 2002, sowie durch interne Vergleiche mit den STP-Modellen des IPA gesichert werden.

Zur Behandlung des thermischen Spektralbereiches wird zunächst ein am IfMK für den Mikrowellenbereich entwickeltes MC-STP-Modell modifiziert. Hierzu sind Streu- und Absorptionseigenschaften der relevanten Gase (Wasserdampf, Sauerstoff, ...) und der Wassertröpfchen mit Hilfe des HITRAN Gasabsorptionsdatensatzes und Mie-Rechnungen auf den thermischen Spektralbereich anzupassen. Pro Modelllauf ergibt sich die Strahldichte bzw. Heligkeitstemperatur für eine diskrete Raumrichtung (backward-Methode). Da dies zur Bestimmung des kompletten Strahlungsfeldes u.U. sehr zeitaufwendig werden kann, wird in einem zweiten Schritt ein neues MC-STP-Modell auf Basis der forward-Methode entwickelt. Dieses Modell liefert pro Lauf das komplette Strahlungsfeld, allerdings nur für endlich grosse Raumwinkelintervalle. Ein weiterer Vorteil der forward-Methode liegt darin, daß die Strahlungsflussdichten (gesamte aufwärts oder abwärts gerichtete Strahlung) relativ schnell berechnet werden können. Die Kombination beider Modelle soll sowohl Genauigkeit als auch hinreichende Winkelabdeckung der modellierten Strahldichten gewährleisten. Entwicklung und Validation der Modelle findet in enger Kooperation mit IPA und MIUB statt. Dies beinhaltet auch die Behandlung der Gasabsorption in den jeweiligen Spektralbereichen.

3200: **STP-Modell-Validierung/Verbesserung** (koordiniert durch IUP)

Die flugzeuggetragenen Messungen der spektral hochaufgelösten Strahldichten (FUB, IfT) sowie die Bodenmessungen der Photonenweglängenstatistik (IUP) sollen unter Verwendung der zur Verfügung stehenden Wolkeninformationen (Radar, Mikrowellenradiometer, Flugzeugmessungen, ...) mit Hilfe des solaren STP-Modelles simuliert und verglichen werden. Je nach Komplexität des Wolkentypes lässt sich aus den Abweichungen zwischen Messung und Simulation entweder auf die Genauigkeit der STP-Modelle oder auf die Güte der experimentellen Wolkenerfassung schließen. Die Photonenstatistiken der modellierten Wolken werden mit den IUP-Messungen verglichen, um Aussagen über die Fraktalität von Wolken herzustellen.

3300: **STP-Modellentwicklung (parametrisch)** (koordiniert durch IPA)

In diesem Arbeitspaket werden die entwickelten und numerisch als auch experimentell validierten STP-Modelle zunächst auf gemessene und simulierte Wolkenstrukturen angewandt. Die sich hieraus ergebenden solaren und thermischen Strahlungsfelder (jeweils in mehreren schmalbandigen Spektralbereichen) werden mit den zugehörigen Wolkeneigenschaften korreliert. Dies beinhaltet auch eine Hauptkomponentenanalyse der Wolkenfelder zur Bestimmung der für den Strahlungstransport wichtigsten Wolkenparameter. Hierbei wird auch untersucht, in welchem Masse gebietsgemittelte Wolkenparameter in der Lage sind, die tatsächlichen Strahlungsfelder wiederzugeben. Dieser Arbeitspunkt zielt auf zukünftige Parametrisierungen der Strahlungseigenschaften in nichwolkenauflösenden Atmosphärenmodellen und wird massgeblich vom Projektpartner IPA bearbeitet. Das Hauptziel

des vorliegenden Teilprojektes ist jedoch die Entwicklung von Fernerkundungsverfahren aus der Regression zwischen Strahlungsfeld und Wolkenparameter. Da diese beiden Datenmengen aufgrund der Natur des Strahlungstransportes hochgradig nichtlinear miteinander verknüpft sind, sollen

Neuronale-Netz-Techniken verwendet werden, um diesen Zusammenhang sowie dessen Güte herzustellen. Letzere wird abschliessend dazu genutzt, die Machbarkeit passiver Wolkenfernerkundung zu testen, da aufgrund der begrenzten Anzahl unabhängiger Messungen (wenige spektrale Kanäle, zumeist nur eine Raumrichtung) die mittleren Wolkeneigenschaften im Radiometerblickwinkel nur annähernd bestimmt werden können. Konkrete Anwendungen hierzu sollen für die Satellitenradiometer AVHRR und, falls aktuell, für die Radiometer auf den europäischen Satellitenplattformen ENVISAT (Environmental Satellite) und MSG (METEOSAT Second Generation) durchgeführt werden. Die Fernerkundungsalgorithmen sollen auf die während der Meßkampagne aufgenommenen Satellitenmessungen angewendet und die resultierenden Flüssigwasserpfade anhand der (genauen) Bodenmessungen validiert werden. Diese Arbeiten sind in enger Kooperation mit TUF geplant.

3.2 Koordination des Arbeitspaketes 3100

Der Antragsteller koordiniert das Arbeitspaket 3100 **STP-Modellentwicklung (exakt)**. Hierbei sollen zunächst die Arbeiten zur Entwicklung von MC-STP-Modellen der Projektpartner MIUB, IPA und IfMK für den thermischen und den Mikrowellenbereich aufeinander abgestimmt werden. Ein Vergleich der Modellergebnisse für feste Wolkenzenarien soll zur numerischen Validation dienen. IPA und IFMK entwickeln gemeinsam ein MC-STP-Modell auf Basis der forward-Methode. Hierbei werden Photonen von der Quelle (Erdoberfläche und Atmosphäre) zu den Detektoren (Satellitensensoren) hin verfolgt.

Weiterhin muss auf eine einheitliche Behandlung der gas- und wolkenpezifischen Materialkonstanten (spektrale Transmissionsfunktionen der atmosphärischen Gase, spektraler Brechungsindex von flüssigem Wasser), sowie der Streueigenschaften der Wassertröpfchen geachtet werden.

Der Antragsteller ist aktiv an einem internationalen Vergleichsprojekt 3-dimensionaler STP-Modelle beteiligt (I3RC). Hierdurch ergeben sich weitere Vergleichsmöglichkeiten mit externen Modellen. Da im Rahmen von I3RC auch verschiedene Techniken der STP-Modellierung diskutiert werden, eröffnet sich hier eine wichtige Quelle für Monte Carlo Techniken und deren numerischen Umsetzung. Es ist geplant, einige "Paradewolken" aus dem Verbundvorhaben 4DWOLKEN dem I3RC als Fallbeispiele zukommen zu lassen.

3.3 Meilensteinplanung

Der wesentliche Aspekt des gesamten Verbundvorhabens 4DWOLKEN ist die Integration der Ergebnisse der jeweiligen Teilprojekte. Da dies im Rahmen der Arbeitstreffen geschehen soll, bezieht sich die folgende Meilensteinplanung auf die angestrebten Verbundtreffen. Mit einem Projektbeginn am 1.10. 2000 ergibt sich folgender Zeitplan (in Projektmonaten):

1. **Treffen (Kick-Off: Monat 2):** Hier wird die Detailplanung des Projektes festgelegt. Dies beinhaltet sowohl die Zeitplanung, die Definition der Schnittstellen zwischen den einzelnen Arbeitspaketen als auch die Festlegung einer Datenaustauschpolitik insbesondere mit CLIWA-NET.
2. **Treffen (Experimentplanung: Monat 6):** Neben der Experimentplanung werden erste Ergebnisse der STP-Modellentwicklung, insbesondere für den thermischen Spektralbereich diskutiert.
3. **Treffen (Auswertung: Monat 19):** Zu diesem Zeitpunkt sollen erste Versionen der vermessenen Wolkenstrukturen und die gleichzeitig gemessenen Strahlungsgrößen

zwecks Vergleich an die STP-Modellierungsgruppen weitergegeben werden. Folgende Arbeiten des Teilprojektes sollen weitgehend abgeschlossen sein:

- Optimierung und numerische Validation der MC-STP-Modelle für den solaren Spektralbereich.
- Entwicklung von MC-STP-Modellen für den thermischen Spektralbereich
- Realisierung 4-dimensionaler Wolkenfelder mittels wolkenauflösender Atmosphärenmodelle
- Umrechnung der Wolkenparameter in strahlungstransportrelevante Grössen.

4. Treffen (Datenzusammenführung: Monat 26): Hier werden die ausgewerteten Messdaten, sowie erste Ergebnisse der STP-Rechnungen zusammengbracht. Insbesondere sollen STP-Simulationen der gemessenen Strahlungsfelder und der Photonenweglängenstatistik während der Messkampagne vorgestellt und diskutiert werden.

5. Treffen (Abschluss Phase 1: Monat 35): Die Arbeitspakete der Phase 1 werden vorgestellt, Basierend auf den Ergebnissen soll die Planung der 2. Projektphase stattfinden. Die restlichen Arbeiten des Teilprojektes sollen abgeschlossen sein:

- Simulation der gemessenen Strahlungsfelder und Interpretation der Ergebnisse
- Berechnung der solaren und thermischen Strahlungsfelder für eine hinreichend grosse Anzahl modellierter und gemessener Wolkenstrukuren
- Korrelation zwischen Strahlungsfeld und Wolkeneigenschaften. Vorstellung von Fernerkundungsverfahren. Validation der Fernerkundungsverfahren mittels Messdaten des Feldexperimentes.

Schliesslich werden die Endergebnisse den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.

Der folgende **Balkenplan** faßt die Meilensteinplanung für das beantragte Projekt zusammen:

Projekt-Monat	1 - 6	7 - 12	13 - 18	19-24	25-30	31-36
1. Treffen (Kickoff)	x					
Entwicklung 3D-STP-Modell (solar)	-----					
Entwicklung 3D-STP-Modell (thermisch)	-----	-----				
Wolkenmodellierung		-----	-----			
2. Treffen: (Experimentplanung)	x					
STP-Modell Anwendung (simulierte Wolken)			-----	-----		
STP-Modell Anwendung (gemessene Wolken)			-----	-----		
3. Treffen: (Auswertung)				x		
Vergleich gemessener/modellierter Strahlungsfelder				-----	-----	
Entwicklung und Anwendung von Fernerkundungsverfahren				-----	-----	
4. Treffen: (Datenzusammenführung)					x	
Zusammenfassung der Ergebnisse, Publikation						-----
5. Treffen (Abschluss Phase 1)						x

4. Verwertungsplan

4.1 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Aufgrund der international anerkannten Expertise in der Entwicklung verschiedenster Modelle zur Behandlung des Strahlungstransportes in der bewölkten Atmosphäre, sowie der Tatsache, dass die Basis für die in diesem Teilprojekt zu entwickelnden Modelle bereits existiert, kann davon ausgegangen werden, daß die Entwicklung, Anwendung und Auswertung sowohl der Atmosphären- als auch der STP-Modelle planmässig durchgeführt werden kann.

4.2 Wissenschaftliche Anschlußfähigkeit

Die Berücksichtigung inhomogener Wolkenstrukturen in Modell und Messung ist international ein hochaktuelles Thema. Aufgrund der zu erwartenden fruchtbaren Zusammenarbeit der einzelnen Teilprojekte ist mit einer grossen Anzahl von Veröffentlichungen in internationalen, begutachteten Zeitschriften zu rechnen. Darüberhinaus wird angestrebt, die Ergebnisse des Verbundes auf Internationalen Fachtagungen gebührend zu repräsentieren. Der Antragsteller ist seit mehreren Jahren an der Organisation der Jahrestagung der European Geophysical Society (EGS) beteiligt und wird sich dafür einsetzen, dem Forschungsthema im Rahmen der EGS ein entsprechendes Forum zu schaffen.

Durch Vergabe von Diplom- und Doktorarbeiten am IfMK ergibt sich die Möglichkeit, dass Thema zu vertiefen und für zukünftige Forschungsziele auszubauen.

4.3 Zusammenarbeit mit Dritten

Das beantragte Vorhaben ist Bestandteil des Verbundprojektes 4DWOLKEN. Die Zielsetzung dieses Verbundprojektes kann nur in koordinierter Zusammenarbeit der beteiligten deutschen

Forschungsgruppen erreicht werden. Der vorliegende Projektantrag trägt zu 4DWOLKEN die Analyse der Korrelation zwischen Wolkenparametern und zugehörigen solaren und thermischen Strahlungsfeldern bei und dient als Grundlage zur Entwicklung von Wolkenfernerkundungsverfahren und damit als Interpretationswerkzeug gemessener Strahlungsfelder.

Durch die Kombination von 4DWOLKEN und CLIWA-NET und I3RC werden weitere synergetische Effekte durch die gezielte Zusammenarbeit zwischen den drei Projekten möglich. Die Zusammenarbeit mit CLIWA-NET erbringt umfangreiche Validations- und damit Verbesserungsmöglichkeiten der Wolkenwasserfernerkundung. Die Zusammenarbeit mit I3RC eröffnet neue Perspektiven in der Methodenentwicklung von STP-Modellen für inhomogene Bewölkung. Mit Bernhard Mayer (DLR Oberpfaffenhoffen) wird bzgl. der STP-Modellentwicklung eine Kooperation angestrebt.

Darüberhinaus herrscht eine enge und langjährige Zusammenarbeit mit international renomierten Institutionen (Ecole Polytechnique, NASA-GISS, NCAR).