

Prof. Dr. Clemens Simmer
Meteorologisches Institut der
Universität Bonn (MIUB)
Auf dem Hügel 20
D-53121 Bonn
Tel.: 0228-73-5181
FAX: 0228-73-5188
email: csimmer@uni-bonn.de

Dr. Susanne Crewell

Tel.: 0228-73-5779

email: screwell@uni-bonn.de

Vorhabensbeschreibung zum Thema:

4D Bewölkung der unteren Atmosphäre (4DWOLKEN): Beobachtung/Modellierung im Mikrowellenbereich und Assimilation in Atmosphärenmodelle

1. Ziele

1.1 Gesamtziel des Vorhabens

Das beantragte Vorhaben ist Bestandteil des Verbundprojektes 4DWOLKEN. Das Hauptziel des Teilprojektes ist die konsistente Erfassung der zeitlichen und räumlichen Variabilität des Flüssigwassergehaltes von niedriger Bewölkung zusammen mit der Temperatur- und Feuchtestruktur der Grenzschicht und unteren Troposphäre. Dies erfolgt mit einem neuartigen, räumlich (1°) und zeitlich (1 s) hoch auflösenden Mikrowellenradiometer (MICCY) und wird unterstützt durch andere bodengebundene (Wolkenradar) und flugzeuggetragene (Partikelproben) Messungen der Wolkenmikrophysik. Diese Daten dienen als Eingangsdaten für die dreidimensionale Strahlungstransportmodellierung und zur Entwicklung von verbesserten Wolkenparametrisierungen. Durch die Angliederungen der Messungen an die Intensivphasen des EU-Projektes CLIWA-NET wird ein hierfür einmaliger Datensatz über die 4-dimensionale Struktur der bewölkten atmosphärischen Grenzschicht erstellt werden.

Ein spezielles Teilziel ist die Entwicklung und Anwendung eines Algorithmus zur Bestimmung der Flüssigwasseranteile von Wolken- und Niederschlagspartikeln aus den multispektralen, polarisierten Mikrowellenmessungen. Damit kann untersucht werden, wie häufig und mit welchem Anteil am Wassergehalt Niederschlagsteilchen in Wolken, die zu keinem Niederschlag am Boden führen, auftreten.

In einer Anwendungskomponente wird ein Verfahren entwickelt, Flüssigwassergehalte in Atmosphärenmodelle zu assimilieren. Die Verbesserung von Vorhersagen eines nichthydrostatischen Wettervorhersagemodells ($1\text{km} < \Delta x < 10\text{km}$) durch neue Strahlungsparametrisierungen und das angepasste Assimilationsschema wird untersucht. Dies ermöglicht es, die Auswirkungen auf den Energie- und Wasserkreislauf auf diesen Skalen zu untersuchen, einem weiteren Ziel des Teilvorhabens.

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

- Untersuchung der wolkenbedingten und großräumigen Konvektion als Träger des Vertikaltransportes bis in die obere Troposphäre

1.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens

a) Wissenschaftliche Ziele

- Beschreibung der zeitlichen und räumlichen Variabilität von Wolken
Durch den Einsatz eines neuartigen Mikrowellenspektrometers koordiniert mit einem 95 GHz Radar (Projektpartner GKSS) werden Messungen des Wolkenwassergehalts mit hoher Auflösung (Integrationszeiten 1s, Antennenöffnungswinkel $< 1^\circ$) gewonnen. Durch die Kombination beider Messinstrumente ist es möglich, nicht nur den gesamten Flüssigwasserpfad (LWP), sondern auch das Vertikalprofil des Wolkenwassergehalts (LWC) zu bestimmen. Dabei sollen auch erstmals räumlich abtastende Messungen von einzelnen Wolken (beide Geräte operieren im Scanmodus) durchgeführt werden. In die Auswertung werden auch die anderen im Rahmen der Intensivmessphasen von CLIWA-NET durchgeführten Messungen mit eingehen. Die im Rahmen von 4DWOLKEN durchgeführten Flugzeugmessungen des Tropfenspektrums werden für die Validation des Verfahrens eingesetzt. Die so bestimmte Wolkenvariabilität wird als Input benötigt für a) Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen mikrophysikalischer Variabilität und der Strahlungsbilanzeffekte der Wolken (Projektpartner IPA Mainz), b) für die Algorithmenentwicklung für Satellitenexperimente (Projektpartner IfM Kiel und TUD Dresden) und c) Untersuchungen der räumlich-zeitlichen Skalierungseigenschaften der Bewölkung (Projektpartner IUP Heidelberg). (Arbeitspakete: 2100 und 2200)

- Quantifizierung des Anteils von Niederschlag im Gesamtflüssigwasser
Das Auftreten großer Tropfen ($r > 40 \mu\text{m}$) in Wolken bzw. das Ausfallen von Niederschlagstropfen, die auf dem Weg zum Erdboden verdunsten, können zur fehlerhaften Interpretation von Fernerkundungsmessungen in allen Spektralbereichen führen. Insbesondere kann dieser Effekt Strahlungsbilanzkalkulationen auf der Basis von Radarreflektivitäten (proportional r^6) extrem verfälschen. Messungen innerhalb des ARM Projekts (USA) [Clothiaux, persönliche Mitteilung] deuten darauf hin, daß dies sehr häufig der Fall ist. Bis jetzt konnten einige dieser Situationen durch die Messung der Dopplergeschwindigkeit vom Radar und der Ceilometer Rückstreuung erkannt werden. Zu einer sensitiveren Erkennung und einer Quantifizierung soll die Polarisation des passiven Mikrowellensignals genutzt werden. (Arbeitspakete: 2200, 3100 und 3300)

- Einfluss inhomogener Bewölkung auf Energie- und Wasserkreislauf
Das Ziel ist die Untersuchung des Einflusses inhomogener Bewölkung auf die Transportprozesse in der Grenzschicht. Um dies zu ermöglichen, werden realitätsnahe Simulationen mit dem Lokalmmodell des DWD durchgeführt, die 3D-Strahlungseffekte berücksichtigen und in denen realistische Wolkenwassergehalte assimiliert werden. (Arbeitspaket 4300)

b) Technische Ziele

- Synergie von Sensoren
Es werden bodengebundene Fernerkundungsalgorithmen für Wolken entwickelt, die Messungen unterschiedlicher Sensoren (passives Mikrowellenradiometer, Wolkenradar, Lidar Ceilometer, Infrarotradiometer) kombinieren und dreidimensionale Effekte mit berücksichtigen. Durch die unterschiedlichen Sensitivitäten der verschiedenen Messinstrumente gegenüber dem Tropfenradius (Ceilometer $\sim r^2$, Mikrowelle $\sim r^3$, Radar $\sim r^6$) können grobe Schätzungen über die Parameter der Tropfenverteilung gemacht werden. Die Hinzunahme einer unabhängigen Messung bei der Bestimmung eines Parameters kann dessen Genauigkeit wesentlich verbessern (z.B. LWP Hinzunahme bei der LWC Bestimmung aus Z).

- Assimilation von Wolken

Dazu soll der Wolkenwassergehalt, der ein prognostischer Parameter in dem Lokalmodell (LM) des DWD darstellt, in dieses nichthydrostatische Modell assimiliert werden. Die Eingabedaten stammen dabei aus den Messungen von 4DWOLKEN und CLIWA-NET.

2. Stand der Wissenschaft und Technik; bisherige Arbeiten

2.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Der Flüssigwassergehalt kontinentaler Wolken lässt sich – abgesehen von sporadischen Flugzeugmessungen – nur sehr schwer quantitativ erfassen. Mit passiver Mikrowellenradiometrie kann die Flüssigwassersäule [Westwater, 1978, Karstens et al., 1994] zusammen mit Temperatur- und Feuchtestruktur der Grenzschicht und der unteren Troposphäre [Askne und Westwater, 1986; Crewell et al., 1999] recht genau und zeitlich hoch aufgelöst bestimmt werden. Aus diesem Grund bildet ein bodengebundenes Netz von Mikrowellenradiometern die Basis zur Bestimmung von globalen Feldern des Wolkenwassergehaltes in dem EU-Projekt CLIWA-NET, das vom MIUB gemeinsam mit dem KNMI initiiert wurde. Ein zentrales Instrument innerhalb von CLIWA-NET ist das 22 Kanal Radiometer MICCY (Microwave radiometer for Cloud Cartography) des Meteorologischen Instituts der Universität Bonn. Dieses weltweit einzigartige Radiometer ist mit seiner räumlichen Auflösung von weniger als 1° in allen Kanälen und einer Gesamtintegrationszeit aller Kanäle von 1 Sekunde ideal zur Vermessung räumlich variabler Wolken geeignet [Crewell et al., 2000]. Die Frequenzkombination des Radiometers beinhaltet auch Information über die vertikale Verteilung des Wolkenwassers [Solheim et al., 1998; Crewell et al., 1999].

Um das Wolkenwasserprofil mit möglichst hoher vertikaler Auflösung und Genauigkeit zu messen, ist die Kombination mit den Profilen des Radarreflektivitätsfaktors (Z) gemessen mit einem Wolkenradar optimal. Bisher wurde der von 2-Kanal Mikrowellenradiometern gemessene LWP dazu benutzt, Standard Z-LWC Beziehungen zu skalieren [Frisch et al., 1995, 1998]. Die Einbeziehung eines mittleren Modellprofils und der Fehlerstatistiken zur Z-LWC Beziehung mittels der *Optimal Estimation* Methode [Rodgers, 1976] führt zu Verbesserungen [Löhnert et al., 1999]. Derzeit wird dieses Verfahren von uns auf die Mehrkanalinformation von MICCY erweitert und Messungen einer ersten Testkampagne, die im Oktober 1999 zusammen mit dem 95 GHz Radar des Forschungszentrum Geesthacht durchgeführt wurde, ausgewertet. Bei den dort durchgeführten Messungen waren beide Instrumente zum Zenit gerichtet. Die bisher noch nicht angewandte Möglichkeit, MICCY und das Wolkenradar der GKSS MIRACLE in Azimuth und Elevation zu schwenken, wird auf Grund der sehr guten räumlichen Auflösung des Radiometers ermöglichen, Einzelwolken 3-dimensional zu erfassen (geometrische Ausdehnung, LWC, effektiver Radius¹).

Ein Prozess, der die direkte Konvertierung der vom Radar gemessenen Reflektivitäten (proportional zur 6. Potenz des Durchmessers der rückstreuenden Teilchen) zum LWC kompliziert, ist die Bildung von Niesel- und Niederschlagspartikeln, die aufgrund ihrer Größe das Wolkensignal maskieren [Fox und Illingworth, 1997]. Häufig verdunsten die aus der Wolke ausfallenden Partikel innerhalb kurzer Zeit, so dass sie am Erdboden nie als Niederschlag auftreten. Die Existenz von großen bei insitu Flugzeugmessungen nicht erfassten Wolkentropfen zur Erklärung der überhöhten Wolkenabsorption wird von Wiscombe et al. [1984] und Lubin et al. [1996] diskutiert. Von der Arbeitsgruppe wurde ein neuartiges Verfahren [Czekala et al., 1999] vorgeschlagen, dass die Asphärizität der Niederschlagsteilchen und das dadurch entstehende Polarisationsignal ausnutzt, um den Anteil von Wolken- und Niederschlagswasser zu trennen. MICCY ist dazu gut geeignet. Der dreidimensionale Strahlungstransfer im Mikrowellenbereich ist zwar schon realisiert worden [Liu et al., 1996], jedoch noch nicht mit asphärischen Teilchen.

¹ kann unter Annahme einer Lognormal-Verteilung aus synergetischen Algorithmen abgeleitet werden

Viele numerische Modellstudien haben gezeigt, wie groß der Einfluss von Wolken auf die atmosphärische Grenzschicht ist (z.B. McNider et al. 1995; Lipton 1993). Mit den im Verbundprojekt von der Arbeitsgruppe IPA Mainz (Trautmann) entwickelten Parametrisierungen der 3D-Strahlungseffekte für das Lokalmodell des DWD werden deren Auswirkungen auf die Grenzschicht untersucht. Diese Erweiterungen des LM werden in Kooperation mit dem DWD in die derzeit laufenden Entwicklungsarbeiten zur Initialisierung des LM mit hydrometeorologischen Parametern [Haase und Simmer, 1999; Braun et al., 2000] und der Assimilation der Strahlungseffekte von Wolken aufgenommen werden. Hierzu ist es notwendig neue Verfahrensansätze zu entwickeln, welche die komplexen Wolkenparameter berücksichtigen.

Zitierte Literatur:

- Askne, J. and E. Westwater, 1986: A review of ground-based remote sensing of temperature and moisture by passive microwave radiometers, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, GE-24, 340-352.
- Boers, R., H. Russchenberg, J. Erkelens, V. Venema, A. Van Lammeren, A. Apituley, S. Jongen, 2000: Ground-based remote sensing of stratocumulus properties during CLARA, 1996. *J. Appl. Met.*, **39**, 169-181.
- Braun, P., B. Maurer, G. Müller, P. Gross, G. Heinemann und C. Simmer, 2000: An integrated approach for the determination of regional evapotranspiration using mesoscale modelling, remote sensing and boundary layer measurements, *Meteorol. Appl. Phys.*, (angenommen).
- Crewell, S., H. Czekala, U. Löhnert, C. Simmer, T. Rose, R. Zimmermann und R. Zimmermann, 2000: MICCY – a 22 channel ground-based radiometer for atmospheric research, *Radio Science* (eingereicht)
- Crewell, S., U. Löhnert, C. Simmer, 1999: Remote Sensing of Liquid Water Profiles Using Microwave Radiometry, *Remote Sensing of Cloud Parameters: Retrieval and Validation, Symposium Proceedings*, 21-22 October 1999, Delft University of Technology, 45-50.
- Czekala, H., A. Thiele, A. Hornbostel, A. Schroth, C. Simmer, 1999: Polarized microwave radiation from nonspherical cloud and precipitation particles, *Remote Sensing of Cloud Parameters: Retrieval and Validation, Symposium Proceedings*, 21-22 October 1999, Delft University of Technology, 71-76.
- Fox, N. I., A. Illingworth: 1997: The potential of a spaceborne cloud radar for the detection of stratocumulus, *J. Appl. Meteor.*, **36**, 676-687.
- Frisch, A. S., C. W. Fairall, J. B. Snider, 1995: Measurement of stratus cloud and drizzle parameters in ASTEX with a K α -band radar and a microwave radiometer, *J. Atmos. Sci.*, **52**, 2788-2799.
- Frisch, A. S., G. Feingold, C. W. Fairall, T. Uttal, J. B. Snider, 1998: On cloud radar and microwave radiometer measurements of stratus cloud liquid water profiles, *J. Geophys. Res.*, **103**, 23,195-23,197.
- Haase, G. und C. Simmer, 1999: Simulation and assimilation of radar reflectivities using a mesoscale model. *Geophysical Research Abstracts*, Volume 1, 24. General Assembly, Hydrology, Oceans and Atmosphere, 486.
- Han, Y., and E. Westwater, 1995: Remote sensing of tropospheric water vapor and cloud liquid water by integrated ground-based sensors, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **12**, 1050-1059.
- Karstens, U., C. Simmer, und E. Ruprecht, 1994: Remote sensing of cloud liquid water content. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **54**, 157-171.
- Liu, Q., C. Simmer, C. and E. Ruprecht, 1996: Three-dimensional radiative transfer effects of clouds in the microwave spectral range, *J. Geophys. Res.*, **101**, 4289-4298.
- Löhnert, U., S. Crewell, C. Simmer, 1999: Combining a cloud radar, a passive microwave radiometer and a cloud model to obtain cloud liquid water, *Remote Sensing of Cloud Parameters: Retrieval and Validation, Symposium Proceedings*, 21-22 October 1999, Delft University of Technology, 101-106.
- Lipton, A.E., 1993: Cloud shading retrieval and assimilation in a satellite-model coupled mesoscale analysis system. *Monthly Weather Review*, **121**, 3062-3081.

Lubin, D., J.-P. Chen, P. Pilewskie, and F. P. J. Valero, 1996: Microphysical examination of excess cloud absorption in the tropical atmosphere. *J. Geophys. Res.*, **101**, 16961-16972.

McNider, R.T., J.A. Song, and S.Q. Kidder, 1995: Assimilation of GOES-derived solar insolation into a mesoscale model for studies of cloud shading effects. *International Journal of Remote Sensing*, **16**, 2207-2231.

Rodgers, C. D., 1976: Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation, *Rev. of geophysics and space Physics*, **14**, 609-624.

Solheim, F., J. Godwin, E. R. Westwater, Y. Han, S. Keihm, K. Marsh, R. Ware, 1998: Radiometric profiling of temperature, water vapor and cloud liquid water using various inversion methods, *Radio Science*, **33**, 393-404.

Westwater, E., 1978: The accuracy of water vapor and cloud liquid determination by dual-frequency ground-based microwave radiometry, *Radio Science*, **13**, 667-685.

Wiscombe, W. J., R. M. Welch, and W. W. Hall, 1984: The effect of very large drops on cloud absorption, 1, Parcel models. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 1336-1355.

2.2 Bisherige Arbeiten der Antragsteller

Die Antragsteller haben eine langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der Fernerkundung (insbesondere im Mikrowellenbereich) und der Mesoskaligen Modellierung. Insbesondere im Bereich der Mikrowellenfernerkundung wird seit mehr als 10 Jahren an Geräte-entwicklungen, Messkampagnen, Strahlungstransport und Algorithmenentwicklungen gearbeitet. In der Gruppe werden mehrere bodengebundene Fernerkundungsinstrumente betrieben (Mikrowellenradiometer, Lidar Ceilometer, Infrarotradiometer und Radar) und Algorithmen für die Bestimmung meteorologischer Parameter entwickelt. Die Antragsteller verfügen über langjährige Erfahrung in der Organisation und Durchführung koordinierter Messkampagnen (S. Crewell seit 1990). Die Gruppe ist an den COST Aktivitäten 712 (Anwendung der Mikrowellenradiometrie vom Satelliten in der Meteorologie) und 717 (Nutzung von Radar in hydrologischen und Wettervorhersagemodellen) beteiligt. An der Evaluierung und Weiterentwicklung (inkl. Assimilation) des Lokalmodell des DWD wird in der Arbeitsgruppe seit 1996 gearbeitet. Einige für das Forschungsvorhaben relevante Publikationen sind im folgenden aufgelistet:

Braun, P., B. Maurer, G. Müller, P. Gross, G. Heinemann und C. Simmer, 2000: An integrated approach for the determination of regional evapotranspiration using mesoscale modelling, remote sensing and boundary layer measurements, *Meteorol. Appl. Phys.*, (angenommen).

Crewell, S., H. Czekala, U. Löhnert, C. Simmer, T. Rose, R. Zimmermann und R. Zimmermann, 2000: MICCY – a 22 channel ground-based radiometer for atmospheric research, *Radio Science*, (eingereicht)

Crewell, S. G. Haase, U. Löhnert, H. Mebold, und C. Simmer. A Ground Based Multi-Sensor System for the Remote Sensing of Clouds. *Phys. Chem. Earth (B)*, **24**, 207-211, 1999

Czekala, H., C. Simmer, 1998: Microwave radiative transfer with non-spherical precipitating hydrometeors, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **60**, 365-374.

Czekala, H., 1998: Effects of ice particle shape and orientation on polarized microwave radiation for off-nadir problems, *Geophys. Res. Lett.*, **25** (10), 1669-1672.

Czekala, H., S. Havemann, K. Schmidt, T. Rother, and C. Simmer, 1999: Comparison of microwave radiative transfer calculations obtained with three different approximations of hydrometeor shape, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **63**, 545-558.

Drusch, M., C. Simmer, und E. F. Wood, 1999: Up-scaling effects in passive microwave remote sensing: ESTAR 1.4 GHz measurements during SGP'97. *Geophysical Research Letters*, **26**, 879-882.

Fuhrhop, R., Th. C. Grenfell, G. Heygster, K.-P. Johnson, P. Schlüssel, M. Schrader, und C. Simmer, 1998: A combined radiative transfer model for sea-ice, open ocean and atmosphere. *Radio Science*, **33**, 303-316.

Haase, G. and S. Crewell, 2000: Simulation of radar reflectivities using a mesoscale weather forecast model. *Water Resources Research*, (angenommen).

Karstens, U., C. Simmer, und E. Ruprecht, 1994: Remote sensing of cloud liquid water content. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **54**, 157-171.

Liu, Q., C. Simmer, C. and E. Ruprecht, 1996: Three-dimensional radiative transfer effects of clouds in the microwave spectral range, *J. Geophys. Res.*, **101**, 4289-4298.

Liu, Q., G. König-Langlo, and C. Simmer, 1998: Surface Radiation Measurements from Polar Stations. *Phys. Chem. Earth*, **23**, 593-598.

Liu, Q., C. Simmer, and E. Ruprecht., 1998: Monte Carlo simulations of the microwave emissivity of the sea surface. *Journal of Geophysical Research*, **103**, 24,983-24,989.

Simmer, C., 1999: Contributions of microwave remote sensing from satellites to studies on the Earth energy budget and the hydrological cycle. *Advances in Space Research*, **24**, 897-905.

3. Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans

3.1 Vorhabensbezogene Planung

Arbeitspaket 1000: **Koordinierung**

Die Antragssteller übernehmen die Gesamtkoordination des Verbundprojektes 4DWOLKEN (siehe auch Verbundantrag und Kooperationsvereinbarung), die auch die finanzielle Abwicklung beinhaltet. Dazu gehört insbesondere die Koordinierung mit dem EU Projekt CLIWA-NET. Die gute Verbindung ist dadurch gewährleistet, dass eine Antragstellerin (S. Crewell) dem Management Team von CLIWA-NET angehört und innerhalb von CLIWA-NET für die Organisation sämtlicher bodengebundener Messungen verantwortlich ist. Als weitere Aufgaben fallen in diesem Arbeitspaket die Vorbereitung der Arbeitstreffen, die Kommunikation zwischen den einzelnen Arbeitspaketen und den Partnern von 4DWOLKEN und die Koordinierung der Berichte und Publikationen an.

Arbeitspaket 2100: **BBC Experiment** (koordiniert durch IFT)

Innerhalb dieses Arbeitspaketes werden die bodengebundenen Messungen mit MICCY durchgeführt. Durch CLIWA-NET werden kontinuierliche Langzeitmessungen (2 Monate) finanziert. Für 4DWOLKEN werden zusammen mit dem Wolkenradar der GKSS koordinierte Abtastungen von Wolken in Azimut und Elevation bei ausgewählten Ereignissen koordiniert mit Flugzeugüberflügen durchgeführt. Um eine in Raum und Zeit möglichst exakte Kolokation beider Messungen zu gewährleisten, damit so die Variabilität im LWC genau bestimmt werden kann, muss die Datenaufnahmesoftware aufeinander abgestimmt werden. In diesem Arbeitspaket, das sich auf die Erfassung von Messwerten konzentriert, wird weiterhin die Übernahme von Daten, die während der BBC-Kampagne von den CLIWA-NET Partnern gemessenen wurden, geregelt. Dies beinhaltet auch den Transfer von 4DWOLKEN-Daten an das CLIWA-NET Konsortium

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

Dieses Arbeitspaket, das die quantitative Beschreibung der räumlich-zeitlichen Variabilität von Wolken (verschiedene Parameter auf verschiedenen Skalen) ausgehend von sämtlichen Messungen der BBC-Kampagne als Ziel hat, wird vom MIUB koordiniert. Vom MIUB werden als Input die Zeitreihen von LWP/IWV², Temperatur- und Feuchteprofil zur Verfügung gestellt. Dazu kommen die Flüssigwasserprofile für die mit dem Wolkenradar koordinierten

² Integrated Water Path (Gesamtwasserdampfgehalt)

Messungen. Zur Untersuchung des Anteils großer Tropfen am Gesamtflüssigwassergehalt werden Algorithmen entwickelt, die auf dem Polarisationsignal der passiven Mikrowelle basieren. Im Rahmen der Koordination dieses Arbeitspaketes findet eine genaue Produktdefinition statt, die alle Eingangsdaten (Messgrößen) und Ausgangsprodukte (Resultate) festlegt. Dabei findet eine enge Absprache sowohl mit dem Arbeitspaket 2100 (IfT) für die Eingangsdaten, als auch mit 3200 (IUP) und 3300 (IPA) für die Ausgangsdaten, die von diesen als Input benötigt werden, statt.

Arbeitspaket 3100: 3D-Strahlungstransport-Entwicklung (exakt) (koordiniert durch IPA)
Hier wird ein existierendes 3D-Mikrowellen- Strahlungstransportmodell [Liu et al., 1996] so erweitert, dass auch die Streuung an asphärische Teilchen berücksichtigt wird. Diese Erweiterung, die notwendig ist um die Algorithmen für die Erkennung großer und dadurch abgeplatteter Teilchen zu entwickeln, ist bis jetzt nur in einem 1-dimensionalen Modell [Czekala et al., 1999, Czekala und Simmer, 1998] implementiert. Im wesentlichen muss daher die Abhängigkeit der Strahlungswechselwirkungsparameter, die gegenwärtig im Streukoordinatensystem formuliert sind, in eine Abhängigkeit vom Absolutkoordinatensystem transformiert werden. Dadurch gewinnen die Nichtdiagonalelemente der Strahlungswechselwirkungsparameter (insbesondere Extinktionsmatrix und Phasenfunktionsmatrix) an Bedeutung. Die für das 1D-Modell verwendeten Einfachstreuemodelle für asphärische Teilchen (z.B. T-Matrix Methode) können beibehalten werden.

Arbeitspaket 4100: 3D-Strahlungstransport (dynamische Modelle) (koordiniert durch IPA)
Beim Einbau der im Arbeitspaket 3300 von den anderen Projektpartnern entwickelten 3D-Strahlungsparametrisierung für wolkenauflösende Modelle in das LM wird Hilfe geleistet und die entsprechenden Verfahren ausgetestet.

Arbeitspaket 4300: Dynamische Wolkeneffekte (koordiniert durch GKSS)
In diesem Arbeitspaket, das die Analyse des Einflusses von 4D-Bewölkung auf Energie- und Wasserkreislauf zum Ziel hat, wird zunächst die Assimilation von 3D-Wolkenwassergehalten (bestimmt im Arbeitspaket 2200) aufbauend auf einem bereits erprobten Initialisierungsverfahren für regnende Wolken entwickelt. Die dadurch und durch die 3D-Strahlungsparametrisierung entstehenden Effekte, insbesondere die Auswirkungen auf die Transporte in der Grenzschicht, werden untersucht. Dabei geht es auch um die räumliche Struktur der Energie- und Wasserdivergenzen. Ein wichtiger Untersuchungspunkt dabei ist auch die horizontale Auflösung des Lokalmodells. Dazu werden die gleichen Fälle mit mehreren Auflösungen gerechnet.

3.3 Meilensteinplanung

Zur besseren Fokussierung der Forschungsaktivitäten innerhalb des Verbundes spielen die Arbeitstreffen eine grosse Rolle und sind wichtige Meilensteine des Projekts. Dort wird jeweils über den aktuellen Stand aller Arbeitspakete berichtet und die anstehenden Ziele neu diskutiert. Mit einem Projektbeginn am 1.10.2000 ergibt sich folgender Zeitplan (in Projektmonaten):

Erstes Förderjahr

1. Treffen (Kickoff: Monat 2): Hier wird die Detailplanung des Projektes festgelegt. Dies beinhaltet sowohl die Zeitplanung, die verbindliche Definition der Schnittstellen zwischen den einzelnen Arbeitspaketen als auch die Festlegung einer Datenaustauschpolitik insbesondere mit CLIWA-NET. Bereits bei diesem Treffen wird die Diskussion über die optimale Strategie für das Messexperiment breiten Raum einnehmen, um wichtige Aspekte bereits im Rahmen der 2. CLIWA-NET Messperiode (April/Mai 2001) zu berücksichtigen und gegebenenfalls zu testen.

2. Treffen (Experimentplanung: Monat 6): Die detaillierte Planung der Messkampagne inklusive Messtrategien wird angesichts der Erfahrungen aus CLIWA-NET abgestimmt und die Logistik vor Ort abgeklärt.

In der Vorbereitungsphase zur Messkampagne muss mit der GKSS abgestimmt werden, wie die koordinierte Abtastung der Wolken in Azimut und Elevation durchgeführt werden soll. Durch die in April/Mai 2001 in Geesthacht stattfindene CLIWA-NET Kampagne, bei der das Bonner Mikrowellenradiometer in Geesthacht stationiert sein wird, sind erste Testmessungen möglich. Sowohl Datenaufnahme- als auch Auswertesoftware müssen bis dahin angepasst werden.

Parallel zu den Vorbereitungen der Messkampagne wird die Weiterentwicklung eines bereits bestehenden 3D Modells für den Mikrowellenbereich [Liu et al. 1996] durchgeführt. Dieses Modell muss noch um die Berücksichtigung asphärischer Niederschlagspartikel erweitert werden. Dies erfordert die Berücksichtigung des vollständigen Stokes-Vektor, der bisher nur im 1D Modell [Czekala und Simmer, 1998] berücksichtigt wurde. Die Entwicklung wird Ende des 1. Jahres abgeschlossen sein.

Messkampagne: Monat 11-12 Durchführung von speziellen Messungen zur dreidimensionalen Erfassung von Wolken durch Abtasten in Azimuth und Elevation zeitgleich mit dem Wolkenradar des Projektpartners GKSS. Zur Trennung des Signals von Wolken- und Niederschlagspartikeln sollen spezielle Messungen unter flacher Elevation durchgeführt werden. Die Messungen erfolgen in Abstimmung mit den Flugzeugmessungen (IfT Leipzig).

Zweites Förderjahr

Nach der Fertigstellung des 3D-Mikrowellen-STP wird mit diesem Modell eine große Anzahl von 3D-Strahlungstransportrechnungen für 3D Wolkenfelder durchgeführt. Als Input dienen sowohl die Wolkenmodellierungen von dem Projektpartner IfM Kiel (nichthydrostatisches Mesoskalenmodell GESIMA) und dem Kooperationspartner MPI Hamburg (LES Wolkensimulationen) als auch die mikrophysikalischen Messungen (IfT Leipzig). Diese Simulationen werden bis zum 3. Treffen abgeschlossen.

3. Treffen (Auswertung: Monat 19): Zu diesem Zeitpunkt ist die erste Auswertung der Messkampagne abgeschlossen, d.h. Zeitserien von LWP/IWV, Temperatur und Feuchteprofile werden den Projektpartnern in einer Datenbank zur Verfügung gestellt. Von den durch Synergie mit dem Wolkenradar abgeleiteten LWC-Profilen wird eine erste Version vorliegen.

Basierend auf den 3D-STP Mikrowellensimulationen wird ein Algorithmus zur quantitativen Bestimmung des integrierten Flüssigwassergehaltes bei gleichzeitiger Trennung der Anteile von Wolken- und Niederschlagspartikeln entwickelt. Die Daten der Messkampagne werden bezüglich der Intensität und Häufigkeit dieses Phänomens, insbesondere der mögliche Zusammenhang mit der überhöhten Wolkenabsorption solarer Strahlung, analysiert. Diese Analyse soll bis zum 4. Treffen abgeschlossen sein

Drittes Förderjahr

Zur detaillierten Auswertung der Messkampagne werden Fernerkundungsalgorithmen für die synergetische Nutzung von passivem Mikrowellenradiometer, Wolkenradar, Lidar Ceilometer und Infrarotradiometer unter Berücksichtigung von dreidimensionale Effekten abschließend entwickelt. Die theoretischen Arbeiten hierzu werden bereits im zweiten Förderjahr begonnen

4. Treffen (Datenzusammenführung: Monat 26): Nachdem die Auswertung der Messkampagne der Einzelmessungen abgeschlossen ist, präsentieren die Teilnehmer ihre Ergebnisse. Nach diesem Treffen, das nach Möglichkeit mit einem CLIWA-NET Arbeitstreffen gekoppelt wird, soll vor allem die Synthese der verschiedenen Messungen und Auswertungen im Vordergrund stehen, um a) die Problematik der überhöhten

Absorption und b) der Ansätze zur parametrischen Behandlung des 3D-Strahlungstransports zu diskutieren.

Beginnend mit dem Ende der Messkampagne bis zum Ende der ersten Phase von 4DWOLKEN nach drei Jahren wird an der Analyse und Quantifizierung der 4-dimensionalen Variabilität von Wolken gearbeitet. Zunächst erfolgt dies auf der Basis der eigenen Messungen, dann im Hinblick auf eine Synthese mit den Messungen der anderen Verbundpartner. Erste Ergebnisse werden daher allen Projektpartnern möglichst früh zur Verfügung stehen müssen. Die Endergebnisse werden auf dem Abschlusstreffen der ersten Phase präsentiert.

5. Treffen (Abschluss Phase 1: Monat 35): Hier werden die Resultate der einzelnen Arbeitspakete vorgestellt und der Übergang in die 2. Phase von 4DWOLKEN vorbereitet. Dazu gehört eine Evaluierung der bestehenden Planungen auf der Basis der bis dahin erzielten Ergebnisse und der Entwicklungen außerhalb des Verbunds. Evtl. wird auch eine Neustrukturierung der Arbeitstreffen in Phase 2 erfolgen.

Viertes Förderjahr

Das Assimilationschema von Wolkenwassergehalten in das nichthydrostatische Lokalmodell des DWD wird entwickelt. Parallel werden bereits Simulationen mit dem LM für die Experimentphase durchgeführt, um die Rolle der modellierten Wolken an den Austauschprozessen vor der Implementation der Neuentwicklungen zu quantifizieren und um Strategien für die Bewertung zu entwickeln. Die vom Verbundpartner IPA Mainz entwickelten Parametrisierungen zu den 3D-Strahlungseffekten werden in Kooperation mit dem DWD in die derzeit laufenden Entwicklungsarbeiten zur Initialisierung des LM mit hydrometeorologischen Parametern und der Assimilation der Strahlungseffekte von Wolken aufgenommen werden.

6. Treffen (Zwischenbilanz Phase 1: Monat 47): Erste Ergebnisse zur Untersuchung des Einflusses inhomogener Wolken auf die Grenzschicht werden vorgestellt.

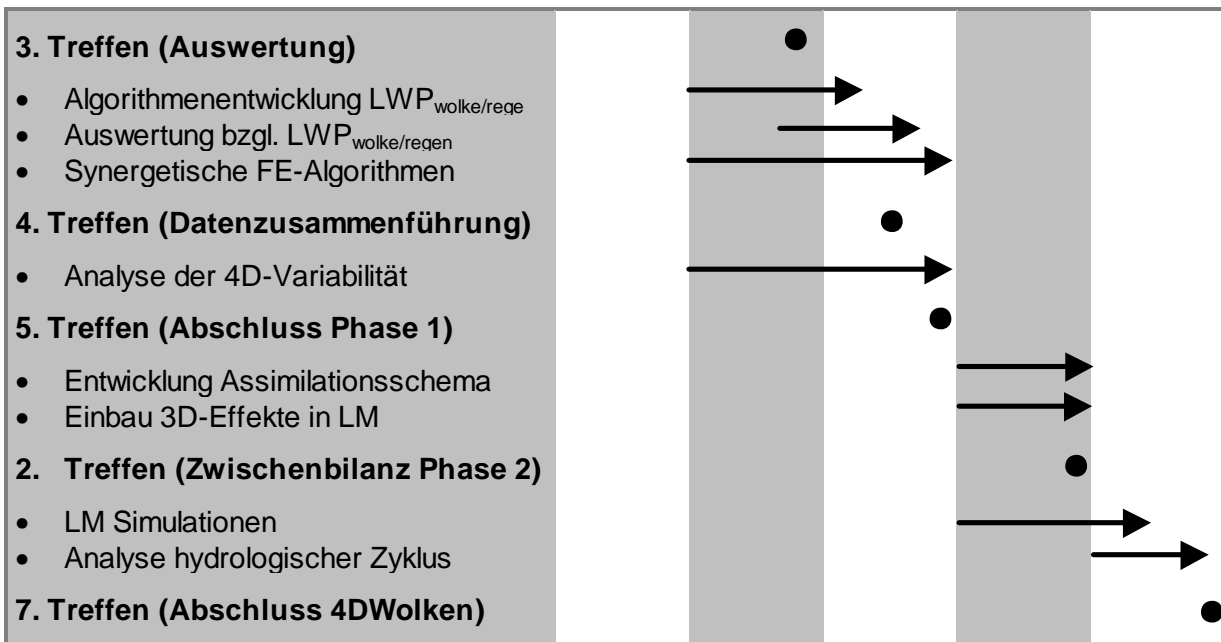
Fünftes Förderjahr

Mit dem Lokalmodell wird eine Reihe von Fallstudien mit dem neuen Assimilationsschema gerechnet und dazu genutzt den hydrologischen Zyklus zu untersuchen. Vergleich mit und ohne 3D-Parametrisierung werden durchgeführt und bewertet. Die Simulationen werden zusätzlich für unterschiedliche horizontale Modellauflösungen durchgeführt, um die Sensitivität der neuen Strahlungsmodule auf die Modellskalen zu testen.

7. Treffen (Abschluss 4DWOLKEN: Monat 59): Die Endergebnisse von 4DWOLKEN werden vorgestellt und der bis dahin vorliegende vorläufige Endbericht diskutiert.

Der folgende **Balkenplan** faßt die Meilensteinplanung (s. Abschnitt 3.2 der Vorhabensbeschreibung) für das beantragte Projekt zusammen:

Projekt-Monat	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60
1. Treffen (Kickoff)	●				
• Vorbereitung Meßkampagne	→				
2. Treffen (Experimentplanung)	●				
• Durchführung der Meßkampagne	→				
• Auswertung Meßkampagne		→			
• Weiterentwicklung 3D-STP-Modell	→	→			
• 3D-STP Simulationen		→			



4. Verwertungsplan

4.2 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Angesichts der langjährigen Erfahrung bei der logistischen Planung und Durchführung von Meßkampagnen wird davon ausgegangen, daß die geplanten Messungen in Koordination mit den anderen Gruppen erfolgreich durchgeführt werden. Es ist mit einem verlässlichen Datensatz zu rechnen. Die verwendeten Meßgeräte sind erprobt. Zum Themenkomplex Assimilation besteht am Institut eine umfangreiche Erfahrung (siehe 2.2 Bisherige Arbeiten).

4.2 Wissenschaftliche Anschlußfähigkeit

Es werden Veröffentlichungen in internationalen, begutachteten Zeitschriften gemeinsam mit den Partnern des Projektverbundes 4DWOLKEN bzw. CLIWA-NET zu den Ergebnissen des Projektes angestrebt. Insbesondere auf den Gebieten der Mikrowellenradiometrie, der Messung von Flüssigwasserprofilen, Algorithmenentwicklung und der Kopplung mit der feinauflösenden Atmosphärenmodellierung wird mit neuen Erkenntnissen gerechnet.

5.2 Zusammenarbeit mit Dritten

Das beantragte Vorhaben ist Bestandteil des Verbundprojektes 4DWOLKEN. Die Zielstellung dieses Verbundprojektes kann nur in koordinierter Zusammenarbeit der beteiligten deutschen Forschungsgruppen erreicht werden. Der vorliegende Projektantrag trägt zu 4DWOLKEN neben der Koordinierung des Projekts durch die Bestimmung der 4 dimensional Variabilität des Wolkenwassergehaltes mittels neuartiger Messmethoden bei. Diese werden von verschiedenen Projektpartnern benötigt (siehe Verbundantrag).

Durch die Kombination von 4DWOLKEN und CLIWA-NET werden weitere synergetische Effekte durch eine gezielte Zusammenarbeit zwischen beiden Projekten möglich. Insbesondere zusammen mit der Modellierungsgruppe in CLIWA-NET, die sich mit der Evaluierung und Verbesserung von Wolkenparametrisierungen in Wettervorhersage- und Klimamodellen beschäftigt, wird das Verständnis des Wasserkreislaufes in der unteren Troposphäre verbessert.

Bei der Entwicklung des 3D-Mikrowellenstrahlungstransportmodells besteht eine Kooperation mit der Dr. Stefan Bühler (IUP Bremen), der im Rahmen von AFO2000 eine Nachwuchsgruppe aufbauen wird. Mit Bernard Mayer (DLR Oberpfaffenhofen) besteht bzgl. der Strahlungstranportmodellierung ebenfalls eine Kooperation.

Darüber hinaus bestehen enge Kontakte zu international angesehenen Wissenschaftlergruppen:

- NASA GISS, New York, USA (Wolkenfernerkundung)
- NOAA ETL, Boulder, USA (Radar/Mikrowelle)
- KNMI, Niederlande (Synergie von Sensoren)
- IAP Bern, Schweiz (Mikrowellenradiometrie)