

Dr. Rolf Stuhlmann
GKSS Forschungszentrum
Max-Planck-Straße
D-21502 Geesthacht
Tel.: 04152-87-1543
FAX: 04152-87-2020
email:rolf.stuhlmann@gkss.de

Dr. Burkhardt Rockel

Tel.: 04152-87-2008

email: burkhardt.rockel@gkss.de

Vorhabensbeschreibung zum Thema:

4D-Bewölkung der unteren Atmosphäre (4DWolken): Beobachtung mit Wolkenradar und Interpretation mit gekoppeltem Modell

1 Ziele

1.1 Gesamtziel des Vorhabens

Bei der Erfassung und Vorhersage des Austausches Boden-Atmosphäre und des Transportes (Wasserhaushalt) in der Atmosphäre spielt die Bewölkung eine entscheidende Rolle. Regionalmodelle, wie zum Beispiel das bei GKSS betriebene BALTEX-Modell, die Kopplung eines Regionalmodells der Atmosphäre (HRM, High-resolution Regional Model) mit einem Modell für Vegetation und Erdboden (SEWAB, Surface Energy and Water Balance Scheme), prognostizieren Wolkenwassergehalt auf der Skala ihres Modellgitters (derzeit $14 \times 14 \text{ km}^2$ für HRM-SEWAB). Subskaliger Wolkenwassergehalt wird im HRM mittels einer linearen Beziehung zur Sättigungsfeuchte diagnostiziert. Aussagen über die inhomogene Verteilung des flüssigen und festen Wolkenwassers innerhalb der Gitterbox und dessen Einfluss auf den Austausch Boden-Atmosphäre und den Transport in der Atmosphäre sind derzeit mit diesen Modellen nicht möglich.

Untersuchungen mit 3D-Monte Carlo Strahlungstransportmodellen zeigen sehr deutlich, dass bei beliebig aber fest vorgegebenem Wolkenwasserweg (sowohl für die Wasser- als auch die Eisphase) und Nichtberücksichtigung der inhomogenen Struktur eine Überschätzung sowohl der sphärischen Albedo als auch der Absorption eintritt. Im Falle einer beliebig aber fest vorgegebenen sphärischen Albedo (z. B. bei der Fernerkundungsanwendung) wird damit bei einer Nichtberücksichtigung der inhomogenen Struktur die atmosphärische Absorption unterschätzt.

Diese durch die Inhomogenität in der Verteilung des Wolkenwassers verursachte erhöhte Transparenz der Atmosphäre muss in Abhängigkeit der betrachteten Skala in den Regionalmodellen berücksichtigt werden, was derzeit unzulänglich erfolgt. So wird zum Beispiel im Regionalmodell des Deutschen Wetterdienstes (DWD) das prognostizierte Wolkenwasser generell um die Hälfte reduziert, um die Transparenz der Atmosphäre zu erhöhen, da sonst die vorhergesagte bodennahe Temperatur (2 m) zu niedrig wird.

Ziel dieses Beitrages zu dem Verbundprojekt zur Erfassung der vierdimensionalen Bewölkung der Atmosphäre ist, die bei GKSS vorhandenen Möglichkeiten der Beobachtung gemeinsam mit den Kooperationspartnern (IfM-Kiel, IfT Leipzig, IUP Heidelberg, FU Berlin, MIU Bonn, TU Dresden) im Rahmen eines internationalen Experimentes einzusetzen, um vom Boden (95GHz Wolkenradar, CT25K Laser Ceilometer), vom Flugzeug (PMS Wolkenpartikelmesssonden) und vom Satellit (NOAA-AVHRR, MSG/GERB, ENVISAT) aus Strukturen der Wolkeneigenschaften (Flüssigwassergehalt, Partikelgrößenverteilung) sowie das zugehörige Strahlungsfeld zu bestimmen und anschließend zu analysieren. Diese Datensätze dienen dann den Partnern (IfM-Kiel, IPA-Mainz und MIU-Bonn) zur Validierung und Optimierung von 3D-Strahlungsmodellen wie auch zur Entwicklung von Parametrisierungen (IPA-

Mainz, GKSS), die es erlauben den Effekt inhomogener Wolkenstrukturen sowohl auf der Skala von wolkenauflösenden dynamischen Modellen als auch nicht-wolkenauflösenden Regionalmodellen zu berücksichtigen.

Ein zweites Ziel ist in einem weiteren Schritt die Parametrisierung für die regionale Skala in das bei GKSS betriebene Modellsystem (HRM-SEWAB) zu implementieren und gemeinsam mit den Partnern (IPA-Mainz und TU-Dresden) durch Vergleich mit Satellitendatenanalysen zu validieren, damit dann abschließend eine Analyse des Einflusses von 4D-Bewölkung auf den Energie- und Wasserkreislauf auf regionaler Skala (HRM-SEWAB über dem BALTEX-Gebiet) stattfinden und dessen Wichtigkeit bewertet werden kann.

Eine direkte Verwertung der angestrebten Ergebnisse findet im Rahmen des BALTEX statt, wo das die 4D-Bewölkung berücksichtigende Regionalmodell sowohl zur erweiterten Interpretation von Messdaten für die Prozessanalyse als auch für das Rechnen von Klimaszenarien eingesetzt werden soll. Generell kann mit Hilfe der innerhalb des Verbundes entwickelte Parametrisierung zur Berücksichtigung inhomogener Wolkenstrukturen geklärt werden, ob diese bei der dynamischen Modellierung berücksichtigt werden muss und wenn ja, ob sie direkt in andere Modelle übertragen werden kann. Durch Skalenanalysen globaler Wolken Datensätze, wie zum Beispiel die des ISCCP, ließe sich eine solche Parametrisierung auch in die globalen Zirkulations- und Klimamodelle übertragen. Globalmodelle größerer Institutionen, wie z.B. das ECMWF oder der DWD, werden in der Laufzeit des Vorhabens von z.Zt. ca. 60 km horizontaler Auflösung auf 20 - 30 km umgestellt sein, was eine direkte Übernahme ermöglicht.

1.2 Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Es besteht ein direkter Bezug zu den förderpolitischen Zielen des Programmes der Bundesregierung „Forschung für die Umwelt“ Atmosphärenforschung 2000 (AFO 2000), speziell zu „A. Forschung zur Verbesserung des Systemverständnisses der Atmosphäre“ mit dem zu fördernden Forschungsthema „Vertikaltransporte in der Troposphäre : Wechselwirkung mit Energie-, Wasser- und Spurenstoffkreisläufen“ mit folgenden prioritären Bereichen:

- Wechselwirkungen zwischen Vertikaltransporten in der planetaren Grenzschicht und dem Spurenstoff- und Wasserhaushalt.
- Transportprozesse zwischen planetarer Grenzschicht und der freien Troposphäre unter besonderer Berücksichtigung von Wolkenbildung und Strahlungshaushalt.
- Genestete Beobachtung (in situ Flugzeug-, bodengebundene Radar- und Satellitenmessung) im Zusammenspiel mit gekoppelten Modellen (HRM regionales Atmosphärenmodell; SEWAB – gekoppeltes Hydrologiemodell) zur Integration über unterschiedliche Skalen.

International besteht ein direkter Bezug zu den Programmen des Weltklimaforschungsprogramms (WCRP), speziell zum Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) mit Fokus auf das „regional continental scale experiment BALTEX“. Eine wesentliche Forderung im Rahmen des Weltklimaforschungsprogramms ist das aktive Zusammenspiel von Messung und Modell, einerseits zur Validierung der im Modell parametrisierten Prozesse, andererseits zur erweiterten Interpretation von Messdaten für die Prozessanalyse. Voraussetzung für die Analyse und Vorhersage von Transportprozessen zwischen planetarer Grenzschicht und freier Troposphäre, als auch der Prozesse, die die Umwandlung von Spurenstoffen bestimmen, ist die Kenntnis und Parametrisierung von Wolkenbildung und deren Wechselwirkung mit der Strahlung. Kritisch und derzeit noch offen ist dabei, wie der Effekt inhomogener Strukturen in der Bewölkung erfasst und über Parametrisierungen in den Modellen auf unterschiedlichen Skalen berücksichtigt werden kann.

1.3 Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Vorhabens

Das Ziel des hier beantragten Projektbeitrages der GKSS ist, zu bewerten welchen Einfluss die 3D-Struktur der Bewölkung und deren zeitliche Änderung auf die Vorhersage des Wasserhaushaltes mit nicht-wolkenauflösenden Modellen hat. Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung, Validierung und Bereitstellung einer Parametrisierung zur Berücksichtigung dieser 4D-Wolkeneffekte bei der Anwendung von Regionalmodellen. Damit liefert das hier beantragte Projekt sowohl einen Beitrag zur Grundlagenforschung durch die Quantifizierung von Wolkenprozessen bezüglich ihrer Auswirkung bei der dynamischen Modellierung des Wasserhaushaltes, als auch einen Beitrag in der angewandten Forschung durch die Bereitstellung einer getesteten Parametrisierung zur Verbesserung der dynamischen Modellierung auf der regionalen Skala von 15 km und größer.

2 Stand der Wissenschaft und Technik; bisherige Arbeiten

2.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Die atmosphärische Zirkulation und damit das Klima der Erde wird wesentlich durch die vierdimensionale (Zeit und Raum) Verteilung der Wolken in der Atmosphäre beeinflusst. Die mikro- (Phase, Teilchenspektrum, Teilchenform, Schmutzbeimengungen) und makrophysikalischen Wolkeneigenschaften (vertikale, horizontale Ausdehnung und Dichteänderungen; Schichtung; Höhenlage) und deren Variation im Laufe ihrer Lebensdauer verändern über die Wechselwirkung mit der Strahlung im solaren und terrestrischen Spektralbereich entscheidend die horizontale und vertikale Struktur der Strahlungsbilanz. Bei Klimaänderungen, die auch die Wolkeneigenschaften beeinflussen, ist die durch Wolken - Strahlungswechselwirkung generierte Erwärmung/Abkühlung (cloud-generated radiative heating) (Stuhlmann and Smith, 1988a,b; Sohn, 1999) der entscheidende Rückkopplungsprozess auf die Allgemeine Zirkulation, die den globalen Wasserhaushalt reguliert. Diese enge Kopplung zwischen Wasser- und Energiekreislauf erfordert, dass für Vorhersagen genutzte Modelle sowohl die Größe als auch die Variabilität der Strahlungsflüsse korrekt beschreiben müssen. Dies beinhaltet insbesondere, dass die Prozesse der Wechselwirkung von inhomogener 3D-Struktur der Bewölkung und deren zeitliche Änderung mit der Strahlung in den Modellen (von der wolkenauflösenden bis zur globalen Skala) skalenabhängig berücksichtigt werden muss.

Untersuchungen von Soden (1999) für den tropischen Bereich (30°N - 30°S) für ElNiño/LaNiña Perioden zeigen zum Beispiel, dass globale Zirkulationsmodelle (GCMs) die beobachteten Änderungen in der Atmosphärentemperatur und dem Wasserdampfgehalt korrekt reproduzieren. Unter der Voraussetzung, dass die aus Beobachtungen abgeleiteten Niederschlagssummen der Realität entsprechen, unterschätzen diese Modelle jedoch die Variabilität des Niederschlages um den Faktor Drei. In erster Näherung wird das Freiwerden von latenter Wärme während der ElNiño Perioden durch eine Zunahme der Strahlungsabkühlung ausgeglichen und die daraus resultierende Temperaturtendenz ist primär durch das Residuum dieser beiden Größen bestimmt (Graham, 1995). Strahlungsbilanzexperimente wie das Earth Radiation Budget Experiment (ERBE) (Barkstrom, 1984) oder Scanner for Radiation Budget (ScaRaB) (Kandel et al., 1998) zeigen, dass die Modellergebnisse der Strahlungsbilanz am Oberrand der Atmosphäre gut mit den Ergebnissen dieser Experimente übereinstimmen. Systematische Differenzen gibt es allerdings für die Strahlungsbilanz am Erdboden. Vergleiche mit Abschätzungen der langwelligen Strahlungsbilanz am Erdboden aus Satellitendaten (Darnell, 1996) zeigen zum Beispiel, dass die Modellrechnungen die Variabilität dieser Größe, analog wie für den Niederschlag, systematisch unterschätzen, was auf eine fehlerhafte Beschreibung der Wolkeneigenschaften bezüglich der Erfassung ihrer 3D-Struktur und deren zeitlicher Änderung hinweist. Problematisch ist auch eine Berücksichtigung dieser Wol-

keneffekte in den Regionalmodellen wo derzeit systematische, mehr oder weniger empirisch eingefügte, Korrekturen des Wolkenwassers erfolgen, um hierfür Rechnung zu tragen. So wird zum Beispiel für die Berücksichtigung der Strahlungswirkung im Deutschlandmodell des Deutschen Wetterdienstes das prognostizierte Wolkenwasser halbiert, weil anderenfalls bei bedecktem Himmel zu wenig solare Strahlung den Erdboden erreicht und eine zu starke Reduktion des Tagesganges der bodennahen Temperaturen auftritt (Schrodin et al., 1995).

Das eine nicht vollständige Erfassung der zeitlichen Änderung der dreidimensionalen Struktur der Wolkeneigenschaften ein potentieller Grund für systematische Fehler bei der Beschreibung der Strahlungsflüsse in den Modellen sein kann, wird dadurch deutlich, dass die Variabilität der Wolkenunterkantenhöhe wesentlich die langwellige Strahlungsbilanz sowohl für den Erdboden als auch die Atmosphäre bestimmt, wogegen Randeffekte der Bewölkung und Wechselwirkung zwischen den Wolkenschichten in Verbindung mit variierender Wolkenmikrophysik die solare Strahlungsbilanz maßgeblich modifizieren.

Untersuchungen mit 3D-Monte Carlo Strahlungstransportmodellen zeigen sehr deutlich, dass bei beliebig aber fest vorgegebenem Wolkenwasserweg (sowohl für die Wasser- als auch die Eisphase) und Nichtberücksichtigung der inhomogenen Struktur eine Überschätzung sowohl der sphärischen Albedo als auch der Absorption eintritt. Im Falle einer beliebig aber fest vorgegebenen sphärischen Albedo (z. B. bei der Fernerkundungsanwendung oder auch im Falle Globaler Zirkulationsmodelle, wo es sinnvoll ist, die Strahlungsbilanz am Oberrand der Atmosphäre unverändert zu erhalten) wird damit bei einer Nichtberücksichtigung der inhomogenen Struktur die atmosphärische Absorption unterschätzt.

Die Entwicklung von Messmethoden und Rechnerkapazitäten der letzten Jahre erlaubt inzwischen die direkte Erfassung und Untersuchung der durch Wolken verursachten räumlichen und zeitlichen Variabilität des Strahlungsfeldes (Danne et al., 1996; Danne et al., 1999b; Quante et al., 1999; Weitkamp, et al., 1999), sowie die Parametrisierung der Effekte von Wolkeninhomogenitäten (Barker and Wielicki, 1997; Barker et al., 1999, Cairns et al., 2000) und die Untersuchung ihres Einflusses bei der Modellierung auf der Wolkenskala (Coley and Jonas, 1997).

Die Prozesse, die zur Berücksichtigung dieser 4D-Wolkeneffekte bei der dynamischen Modellierung erfasst werden müssen sind skalenabhängig, und es wird erwartet, dass sie sich im wesentlichen in zwei Klassen aufgliedern. Die erste Klasse betrifft die Modellierung auf der Wolkenskala und die damit verbundene Fragestellung wieweit dynamische Modelle dieser Skala notwendigerweise explizite Rechenzeit aufwendige 3D Monte Carlo Strahlungstransportrechnungen beinhalten müssen. Bei einer Entkopplung der vertikalen Säulen voneinander (individuelle 1D Strahlungstransportrechnungen für jede Atmosphärensäule), also einer Anwendung der sogenannten Independent Pixel Approximation (IPA), wird der horizontale Transport vernachlässigt und die Variabilität der durch Strahlungswechselwirkung verursachten Erwärmung auf dieser Skala überschätzt, was direkt auf die Dynamik rückkoppelt. Die zweite Klasse betrifft die nicht-wolkenauflösenden Modelle von der regionalen bis zur globalen Skala. Es wird hier erwartet, dass eine Anwendung der IPA auf diesen Skalen hinreichend ist und der Effekt gegenüber einer Monte Carlo Rechnung vernachlässigt werden kann. Das Hauptproblem dabei ist der nichtlineare Zusammenhang zwischen Wolkenwasser und Strahlungsflüssen und damit mehr ein Problem der Mittelwertbildung. Hier müssen Parametrisierungen entwickelt werden, die es erlauben, in Abhängigkeit der innerhalb einer Gitterbox gegebenen Inhomogenität skalierte Wolkeneigenschaften zu bestimmen, die einem strahlungsgewichteten Mittelwert des Wolkenwassers entsprechen. Erste Ansätze hierzu können der Arbeit von Cairns et al. (2000) entnommen werden, wo mit einem Korrekturterm die Wolkenextinktion, die Einfachstreueralbedo und der Asymmetriefaktor skaliert werden. Dieser Korrekturfaktor, der als relative Varianz bezeichnet wird, hängt direkt mit dem Logarithmus der Standardabweichung der Wolkenpartikelverteilung zusammen. Über die Vermessung von Wolkenstrukturen, Wolkenmikrophysik und zugehörigen Strahlungsflüssen können Aussagen über die Variabilität dieses Korrekturtermes in Abhängigkeit der Mo-

dellskala (regional bis global) für Regionen mit unterschiedlichen Wolkenregimen abgeleitet werden. Es wird erwartet, dass eine erste Abschätzung dieses Korrekturtermes über die Satellitenfernerkundung möglich ist, so dass für betrachtete Modellregionen statistische Aussagen über Größe und Variabilität dieses Korrekturtermes gemacht werden können. Im globalen Datensatz des International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) (Rossow and Schiffer, 1999) werden zum Beispiel für die globale Skala ($250 \times 250 \text{ km}^2$) zwei unterschiedliche wolkenoptische Tiefen berechnet. Dies ist einmal der lineare Mittelwert, der aus den Einzelmessungen berechneten optischen Tiefe, die dem in der Region vorhandenem Wolkenwasserweg entspricht. Die zweite optische Tiefe ist die strahlungswirksame optische Tiefe, die dem mittleren Strahlungsfluss der Region entspricht. Es wird erwartet, dass der von Crains et al. (2000) diskutierte Korrekturterm in Zusammenhang mit diesen beiden im ISCCP Datensatz zur Verfügung gestellten Größen zusammenhängt. Lässt sich dies bestätigen, kann eine langjährige globale Statistik des Korrekturtermes zur Nutzung in globalen Zirkulationsmodellen direkt aus diesem Datensatz errechnet werden. Für die Anwendung in Regionalmodellen lässt sich dann analog zu dem ISCCP Datensatz durch Auswertung von Satellitendaten innerhalb der Modellskala über dem betrachteten Modellgebiet ähnlich verfahren.

Notwendig neben der Entwicklung solcher oben angesprochenen Parametrisierungen ist es, Informationen über die Struktur der Bewölkung und deren zeitliche Änderung global auf den unterschiedlichen Skalen zu bestimmen. Initiiert über das Weltklimaforschungsprogramm (WCRP) wurden inzwischen internationale Satellitenmissionen vorgeschlagen wie die Earth Radiation Mission (ERM) der Europäer und Japaner bzw. die CLOUDSAT Mission der Amerikaner, die erstmalig Radar und Lidar Geräte im Weltraum vorsehen, die die globale Erfassung der dreidimensionalen Struktur der Bewölkung und deren Einfluss auf die Erzeugung von Strahlungserwärmung und Wasserhaushalt erlauben sollen.

Die Notwendigkeit einer korrekten Erfassung und Parametrisierung der zeitlichen Änderung der räumlichen Strukturen der Wolken beschränkt sich aber nicht nur auf ihren Einfluss auf atmosphärische Transporte, sondern ist auch eine zentrale Fragestellung in der troposphärischen Photochemie (Lelieveld and Crutzen, 1991; Los et al., 1997).

2.2 Bisherige Arbeiten des Anbieters

Ziel dieses Beitrages zu dem hier vorgeschlagenen Verbundprojekt zur Erfassung der vierdimensionalen Bewölkung der Atmosphäre ist, die bei GKSS vorhandene Expertise bei der Beobachtung einzusetzen, um den Einfluss der Wolkeneigenschaften auf das Strahlungsfeld zu bestimmen und anschließend mit der bei GKSS vorhandenen Expertise der Modellierung den Einfluss der inhomogenen Wolkenstrukturen auf den Austausch Boden-Atmosphäre und den Transport (Wasserhaushalt) in der Atmosphäre zu untersuchen.

Dieses vorgeschlagene aktive Zusammenspiel von Messung und Modell, einerseits zur Validierung der im Modell parametrisierten Prozesse, andererseits zur Interpretation beschränkter Datensätze für eine umfassendere Prozessanalyse, ist unter anderem eine zentrale Forderung des WCRP und ein Schwerpunkt im Themenfeld „Energie und Wasserkreisläufe“ des Forschungs- und Entwicklungsprogrammes der GKSS, in dem während der letzten Jahre kontinuierlich Entwicklungsarbeit geleistet wurde.

Seit Beginn der 90er Jahre wurde im Institut für Atmosphärenforschung der GKSS nicht nur das notwendige Instrumentarium zur Erzeugung von Multiparametersätzen mikrophysikalischer Wolkenparameter und die dafür notwendige Auswertesoftware angeschafft und entwickelt, sondern auch durch die Beteiligung an zahlreichen nationalen und internationalen Projekten (z.B. EUCREX 1993/94, REFLEX 1994/95, EURICE 1997/98, ARTIST 1997/2000) mit Feldmesskampagnen in Europa und der Arktis die notwendige Kompetenz erworben, um heute auch ein gefragter Partner für die Luftfahrtindustrie bei der Untersuchung von Flug-

zeugvereisungen und in Übersee zu sein. So existieren seit mehreren Jahren gute Kooperationsbeziehungen zum kanadischen Wetterdienst AES (Atmospheric Environment Service) in Toronto und neuerdings auch zum NCAR (National Center for Atmospheric Research) in Boulder sowie zur NASA in Cleveland. Insbesondere die Arbeiten zur Verbesserung der Datenqualität beim Einsatz im Flugzeug und zur Entwicklung von prozessnahen Kalibriermethoden erlauben die Messungen der für die Modellierung wichtigen Parameter, wie Partikelgrößenverteilung und Flüssigwassergehalt, in einem Größenbereich von 0,3 µm bis 6,4 mm Teilchendurchmesser in guter Qualität. Dies kann durch folgende Veröffentlichungen belegt werden:

- Inhomogenitäten in Wolken (Albers et al., 1999; Buschmann und Albers, 2000)
- Strahlungsflüsse in arktischen Zirruswolken (Masuda et al., 1999)
- Untersuchungen zur Verbesserung der Messgenauigkeit von optisch abbildenden PMS-Sonden (Reuter und Bakan, 1998; Strapp et al., 2000)

Im Bereich der in-situ Messungen von dynamischen und thermodynamischen Parametern in Wolken und in der freien Atmosphäre und deren Interpretation konnten umfangreiche Erfahrungen in verschiedenen Feldkampagnen (ICE, EUCREX, Pre-EUCREX, ARM-CART) gewonnen werden:

- Flugzeugmessungen von Turbulenz und thermodynamischen Größen im Cirrusniveau (Quante et al. 1996; Quante und Starr, 2000).
- Interpretation von Messergebnissen in Hinsicht auf die Wolkenmodellierung (Starr und Quante, 2000).

Die Arbeitsgruppe „Wolkenradar“ bei GKSS betreibt seit 1996 ein bodengebundenes 95-GHz System. Nach einer Evaluierungsphase und ersten systematischen Fallstudien wurde das Wolkenradar auf internationalen Feldkampagnen in England und Frankreich eingesetzt. Neben den auf Messungen basierenden Arbeiten wurden auch theoretische Untersuchungen zur Interpretation der Radarsignale durchgeführt sowie eine umfassende Studie zu einem satellitengestützten Wolkenradar für die Europäische Weltraumbehörde ESA angefertigt. Im einzelnen sind dies:

- Studien zur Struktur von Wolken, zum Teil mit unseren amerikanischen Partnern (Danne et al. 1996; Quante et al. 1996; Danne et al. 1999b; Weitkamp et al. 1999)
- Studien zur dynamischen und mikrophysikalischen Struktur von Eiswolken (Fujiyoshi et al., 1999, Danne et al. 1999a).
- Teilnahme am ESA-ESTEC Projekt zum koordinierten Einsatz von Radar und Lidar, CLARE (Quante et al. 1999).
- Ableitung von mikrophysikalischen Parametern aus Radar-Lidar Messungen im EU Projekt CARL (Noel et al., 2000).
- theoretische Arbeiten zu Rückstreuungseigenschaften von Eiskristallen (Okamoto et al, 1994; Lemke et al., 1998; Lemke und Quante, 1999).
- Studie und Beiträge zum geplanten Satellitenradar der ESA (Lemke et al, 1997; Quante et al., 1998).
- Mitarbeit im Science Team des US-kanadischen Satellitenprojektes CloudSat (M. Quante).

Im Bereich der Satellitenfernerkundung wurden Arbeiten innerhalb des GKSS Themenfeldes „Energie und Wasserkreisläufe“ zur Instrumentenkalibration (ScaRaB: Scanner for Radiation Budget; GERB: Geostationary Earth Radiation Budget Instrument), Experimentbeteiligung (ScaRaB; GERB), Bestimmung von Strahlungsbilanzgrößen und Modellvalidierung durch-

geführt. Dies ist im einzelnen in den folgend aufgelisteten Veröffentlichungen dokumentiert worden:

- Beteiligung an den Experimenten ScaRaB und GERB (Müller et al., 1996; Müller et al., 1997; Kandel et al., 1998; Müller, Stuhlmann und Hollmann, 1999; Müller et al., 1999).
- Bestimmung von Strahlungsbilanzparametern (Hollmann et al., 1999a; Pereira et al., 1999; Pereira et al., 2000).
- Nutzung von Satellitendaten zur Validierung von Regionalmodellen (Ahrens et al., 1998; Hollmann et al., 1999b; Stuhlmann et al., 1999; Stuhlmann, 1999; Hollmann, Müller und Stuhlmann, 2000).

Zur Unterstützung der hier vorgeschlagenen Arbeiten fand eine Beteiligung an den Ausschreibungen zur Nutzung der ENVISAT Daten (Projektvorschlag AO-ID 348) und der MSG Daten (Projektvorschlag AO-ID 137) statt, die beide positiv begutachtet wurden. Damit gewährleisteten ESA und EUMETSAT einen Zugriff auf die gewünschten Daten.

In den vergangenen Jahren wurden am Institut für Atmosphärenphysik der GKSS sowohl auf dem Gebiet der regionalen atmosphärischen Modellierung als auch bei der Erstellung von Landoberflächen- und Hydrologiemodellen für die regionale Skala wesentliche Fortschritte erzielt (Raschke et al., 1998). Dies sind im einzelnen die folgenden (falls die Ergebnisse der Arbeiten schon veröffentlicht wurden, so ist dies jeweils in Klammern angegeben):

- Übertragung des Wettervorhersagemodells des Deutschen Wetterdienstes auf das Ostseeinzugsgebiet (Karstens et al., 1996).
- Validation dieses Modells anhand von ISCCP-Daten (Wolkenbedeckungsgrad, Flüssigwassergehalt) und Niederschlagsdaten von synoptischen und Regenstationen (Ahrens et al., 1998).
- Teilnahme an internationalen Vergleichen (z.B. GCSS) mit den Atmosphärenmodellen GESIMA und REMO. Es wurde hierbei u.a. eine Methodik zur Verbesserung von Wolkenparametrisierungen in größerskaligen Atmosphärenmodellen entwickelt (Ryan et al., 2000).
- Entwicklung eines Abflussschemas für Flussgebiete (Lohmann et al., 1996).
- Entwicklung eines SVAT-Modells (SEWAB) und Teilnahme am internationalen Vergleich PILPS2c (Mengelkamp et al., 1999).
- Zusammenstellung und Auswahl von geeigneten statistischen Verfahren zur Validierung von Ergebnissen des REMO (Ahrens et al., 1998).
- Kopplung des regionalen Atmosphärenmodells HRM mit dem SVAT-Modell SEWAB.
- Übertragbarkeitsstudien des REMO/HRM auf andere Gebiete der Erde.

Bisher modellierte Zeitperioden mit dem Atmosphärenmodell REMO umfassen Mai/Juni 1993 und August bis November 1995 (PIDCAP), da aus diesen Perioden sehr detaillierte Datensätze zusammengetragen werden konnten. Aus diesem umfangreichen Datensatz wurden für die bislang modellierten Zeitperioden die Parameter Bodenluftdruck, 2 m Luft- und Taupunkttemperatur, 10 m Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie tägliche Niederschlagssummen für die Validierung vorbereitet (z.B. Karstens et al., 1996). Außerdem wurde mit der Validierung einiger dieser Parameter im Hinblick auf die Korrektur systematischer Messfehler der gemessenen Niederschläge begonnen. Informationen über Typen der verwendeten Niederschlagsgeräte im BALTEX-Gebiet und zugehörige Korrekturfunktionen wurden zusammengetragen.

1999 wurde zusätzlich zum REMO das HRM an der GKSS installiert. Dies basiert auf dem neuen Globalmodell des DWD und unterscheidet sich in seinem adiabatischen und diabatischen Teil nur in wenig von der GKSS Version des REMO. Wesentliche Änderungen sind allerdings die modernere und klarere Programmierung, was erhebliche Vorteile bei der Nutzung für Forschungszwecke mit sich bringt.

3 Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans

3.1 Vorhabenbezogene Ressourcenplanung

Das von GKSS vorgeschlagene Arbeitspaket gliedert sich in zwei Schwerpunkte, die Messungen und die Modellierung und soll in Kooperation mit den am Verbund beteiligten Partnern - IfM-Kiel, MPI-Hamburg, MIU-Bonn, IfT-Leibzig, TU-Dresden, FU-Berlin, IPA-Mainz und DWD (siehe hierzu auch deren spezielle Beiträge) durchgeführt werden.

In der ersten Phase der Antragstellung liegt der Schwerpunkt auf dem Experiment zur Erfassung von inhomogenen Wolkenstrukturen (95-GHz Wolkenradar, CT25K Laser Ceilometer, PMS Wolkenpartikelmesssonden und Nevzorov_Sonde zur Messung von Flüssig- und Gesamtwassergehalt von Wolken) und deren Einfluss auf den solaren und terrestrischen Strahlungsfluss am Erdboden (Pyranometer- und Pyrgeometermessungen), sowie am Oberland der Atmosphäre (NOAA-AVHRR, MSG/GERB [AO-ID 137], ENVISAT [AO-ID 348]).

In der zweiten Phase liegt der Schwerpunkt auf der Anwendung. Im Bereich der Modellierung sollen die gemeinsam im Verbund abgeleiteten Parametrisierungen zur Berücksichtigung von 3D-Wolkeneffekten in das bei GKSS entwickelte Modellsystem HRM-SEWAB implementiert und an Hand von Satellitendaten (MSG/GERB [AO-ID 137], ENVISAT [AO-ID 348]) validiert werden. Parallel dazu soll auch der Einfluss inhomogener Wolkenstrukturen auf den Austausch Boden-Atmosphäre und den Transport (Wasserhaushalt) in der Atmosphäre mit dem gekoppelten Modell untersucht werden.

Direkte Kooperationsschwerpunkte bestehen bei der Messung zu MIU-Bonn, und IfT-Leibzig für den Einsatz der bodengebundenen GKSS Instrumente, zum IfT-Leibzig und der FU-Berlin bei der gemeinsamen Flugzeugmesskampagne, der TU-Dresden und dem IfM-Kiel bei der Analyse von Satellitendaten. Die Entwicklung der Parametrisierungen zur Berücksichtigung inhomogener Wolkenstrukturen bei der regionalen Modellierung erfolgt im direkten Verbund mit dem IfM-Kiel, MIU-Bonn, IPA-Mainz, die zur Berücksichtigung inhomogener Wolkenstrukturen im Falle der Fernerkundung erfolgt in Kooperation mit IfM-Kiel und TU-Dresden. International ist der hier vorgeschlagene GKSS-Beitrag eingebettet in die EC-Projekte CLIWA-NET und Exploitation of GERB, der Entwicklung der EUMETSAT Climate Monitoring Satellite Application Facility, sowie BALTEX.

3.1.1 Beschreibung des GKSS 95-GHz Wolkenradars

Das GKSS Forschungszentrum Geesthacht, Institut für Atmosphärenphysik, hat 1996 das 95-GHz Wolkenradar MIRACLE (Millimeter-wave radar for cloud layer exploration) in Betrieb genommen. Es handelt sich um ein kohärentes, polarimetrisches Pulsradar. Die Pulsfolgefrequenz, die Anzahl und Lage der Entfernungszellen sowie die Pulslänge können über die Betriebssoftware gesetzt werden, sie ermöglichen eine Zellenauflösung zwischen 7.5 und 82.5 m bis zu einer Entfernung von ca. 15 km, das Fernfeld beginnt bei 900 m. Die Strahlbreite der Antenne führt zu einem Pulsvolumendurchmesser von etwa 30 m in 10 km Entfernung. Zur Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses werden eine bestimmte Anzahl von Profilen on-line gemittelt, die auf diese Weise erzielbare typische minimale Sensitivität liegt bei -40 dBZ in 1 km Entfernung und 1 s Mittelungsintervall. Als Produkte der Rückstreumessungen stehen der äquivalente, horizontale bzw. vertikale Reflektivitätsfaktor, die differentielle Reflektivität, das lineare Depolarisationsverhältnis und der kopolare Korrelati-

onskoeffizient zur Verfügung. Die Dopplersignalauswertung liefert die mittlere Radialgeschwindigkeit der Streuer in der jeweiligen Volumenzelle und deren Standardabweichung mittels Puls-Pair Algorithmus oder das vollständige Spektrum über einen FFT-Algorithmus. Das Radar wird intern geeicht und wurde und wird zur Überprüfung direkt neben einem extern geeichten, vergleichbarem Radar betrieben. Der Eichfehler beträgt in etwa 2 dB, er sollte durch Vergleich mit in-situ Messungen unter geeigneten Bedingungen überprüft werden. Eine Positioniereinheit ermöglicht Antennenbewegungen in Elevation und Azimut und erlaubt somit die dreidimensionale Erfassung von Wolkenfeldern. Die Unterbringung des Gesamtsystems inkl. Arbeitsplatz in einem Seecontainer lässt den Transport zu unterschiedlichsten Einsatzorten zu. Eine umfassende Beschreibung des Systems und ausgewählte Messbeispiele können Quante et al. (1998) entnommen werden.

3.1.2 Beschreibung der in situ Messtechnik (PMS Sonden)

Das Institut für Atmosphärenphysik der GKSS verfügt über eine Reihe von Partikelmesssonden der Firma PMS (Particle Measurement Systems) zur direkten Messungen der Partikelgröße und -konzentration. Der Flüssigwassergehalt der mit der jeweiligen Sonde erfassten Wolkentröpfchen lässt sich daraus ableiten. Die nach dem Prinzip der Vorwärtsstreuung arbeitenden Sonden (FSSP-300, FSSP-100 und FSSP-100 ER) gestatten Messungen im Größenbereich von 0,3 μm bis 95 μm Teilchendurchmesser und sind somit für die Bestimmung mikrophysikalischer Parameter von Aerosolen und Wolkentröpfchen geeignet. Größere Wolkentröpfchen können mit den sog. optisch abbildenden Sonden (OAP-2D2-C, OAP-2D-G-A2) in einem Größenbereich von ca. 20 μm bis 800 μm Durchmesser bis hin zur Größe von Niederschlagsteilchen (OAP-2D2-P), d.h. bis zu 6,4 mm Durchmesser, erfasst werden. Darüber hinaus steht zur direkten Bestimmung des Flüssigwasser- und Gesamtwassergehaltes die nach ihrem Erfinder benannte Nevzorov Sonde zur Verfügung.

3.1.3 Messprogramm

Das GKSS Wolkenradar wird an drei koordinierten Feldexperimenten teilnehmen, von denen zwei in Geesthacht und eins in Cabauw, NL, stattfinden sollen. Während der intensiven Messphasen werden Vertikalprofile des Reflektivitätsfaktors, der Dopplergeschwindigkeit, der Standardabweichung und der linearen Depolarisation zu ausgewählten Zeiten, die mit Satellitenüberflügen abgestimmt sind, aufgenommen. Dabei wird zur Erfassung auch von kleineren Horizontalstrukturen die zeitliche Auflösung auf ca. 1 s gesetzt. Die Vertikalauflösung wird problemangepasst zwischen 37 und 82.5 m betragen.

Aus den Messungen lassen sich die makroskopischen Wolkenparameter wie die Wolkenkanten und Anzahl der Schichten sowie deren internen Strukturen ableiten. Die absoluten Werte der Reflektivitätsmessungen sollen mit den Daten aus Lidar- (Ceilometer) und Mikrowellenradiometermessungen, in Zusammenarbeit mit den Partnern, zusammengeführt werden, um Algorithmen zur Abschätzung mikrophysikalischer Parameter zu testen und weiterzuentwickeln. Zur Erfassung der effektiven Wolkenunterkante ist die Kombination von Radar und Ceilometer essentiell, um die optischen Wolkengrenzen von den Radarunterkanten zu trennen, insbesondere auch, um Gebiete mit Nieselniederschlag, der häufig einige hundert Meter unterhalb der Wolken wieder verdunstet ist, zu identifizieren.

In einigen ausgewählten Fällen soll das Radar mit Hilfe der Positioniereinrichtung die dreidimensionale Struktur von tiefen Wasserwolken erfassen. Die dabei auftretende Dämpfung des Signals auf langen Wegen durch Wasserwolken ist in dem Fall mit Hilfe von Flüssigwasserpfaden, die von Mikrowellenradiometern aufgenommen werden, zu korrigieren. Ein koordiniertes Scannen der beteiligten Messsysteme ist dazu erforderlich, hierzu ist insbesondere das scannende Radiometer des Bonner Partners geeignet.

Um die Qualität der Daten zu gewährleisten, sind die im Vorlauf der Kampagnen stattfindenden Eichungen des Wolkenradars während der Messphasen durch in-situ Messungen von

Wolkentröpfchenverteilungen (Erfassung des gesamten Spektrums durch FSSP und OAP-Sonden von PMS) in reinen Wasserwolken zu validieren. Diese in-situ Daten können im weiteren dann auch zur lokalen Validierung von abgeleiteten Wolkenparametern, wie des Wassergehaltes und der effektiven Teilchengröße herangezogen werden. Dazu sind spezielle Flugmuster in verschiedenen Höhenbereichen der Wolken anzusetzen. Erste Erfahrung zu den Anforderungen an den in-situ Vergleich konnten während vorausgegangener Überfliegungen gesammelt werden. Die Flugmuster sind möglichst auch mit den Überfliegungen des Radars mit dem A-Band-Spektrometer der FU Berlin zu koordinieren.

In Abstimmung mit dem Kooperationspartner IfT sollen bei dem Feldexperiment in Cabauw vorrangig die optisch abbildenden Sonden zur Ergänzung des mit der IfT-Technik erfassten Partikelgrößenbereichs zum Einsatz kommen. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass auf Grund der eingeschränkten finanziellen Möglichkeiten nicht das gesamte Größenspektrum, wie es zur Validierung der o.g. Wolkenradarmessungen notwendig ist, erfasst werden kann. Die Existenz von großen Wolkentropfen lassen sich mit der eingeschränkten Gerätekonfiguration nicht nachweisen.

Parallel zu dem Wolkenradar betreibt GKSS am jeweiligen Standort des Radars während seiner Messkampagnen das CT25K Laser Ceilometer und ein Pyranometer und Pyrgeometer zur Messung der Strahlungsflüsse am Erdboden.

Mit der bei GKSS vorhandenen Satellitenempfangsanlage werden die Überflüge der NOAA Satelliten über das RADAR aufgenommen, archiviert und den an der Satellitenauswertung beteiligten Gruppen zur Verfügung gestellt. GKSS hat Algorithmen zur Bestimmung der Strahlungsbilanz aus NOAA-AVHRR Daten entwickelt. Diese sollen zur Bestimmung der Strahlungsbilanz am Oberrand der Atmosphäre eingesetzt werden. Nach Start von MSG erfolgt auch die Einbeziehung der Daten von GERB und SEVIRI (akzeptiertes EUMETSAT/ESA Proposal AO-ID- 137) und nach dem Start von ENVISAT auch die Nutzung dieser Daten (akzeptiertes ESA Proposal AO-ID-348).

Die auf diese Art gewonnenen Wolkenstruktur- und Strahlungsbilanzfelder können dann der Strahlungstransport- und dynamischen Modellierung als Eingangsdaten dienen.

3.1.4 Modelle

Das an der GKSS betriebene Modellsystem HRM-SEWAB ist ein gekoppeltes Modell für die Atmosphäre und den Erdboden. Es ist insbesondere mit dem Ziel einer möglichst realitätsnahen Beschreibung des Energie- und Wasserkreislaufs über dem BALTEX-Gebiet zusammengestellt und weiterentwickelt worden. Das Modell ermöglicht eine räumliche horizontale Gitterauflösung zwischen etwa 10 und 100 km. Die atmosphärische Komponente wird dabei derzeit durch das hydrostatische Regionalmodell HRM (horizontale Gitterauflösung 10-100 km) repräsentiert. Dies unterscheidet sich in dem adiabatischen und diabatischen Modellteil nur gering von der auch an der GKSS betriebenen Version des Regionalmodells REMO. Wesentliche Änderungen sind allerdings die modernere und klarere Programmierung, was wesentliche Vorteile bei Nutzung für Forschungszwecke mit sich bringt.

REMO ist eine gemeinschaftliche Entwicklung von DWD, MPI und GKSS, und ist eine Weiterentwicklung des Europamodells des DWD. Die in REMO implementierten physikalischen Parametrisierungen von Strahlungs- und Wolkeneigenschaften entsprechen denen, wie sie auch in heutigen Globalmodellen benutzt werden. Das HRM basiert auf dem neuen Globalmodell GME des DWD.

Mit REMO/HRM werden Studien im internationalen Projekt GCSS (GEWEX Cloud System Study) durchgeführt.

SEWAB (Surface Energy and Water Balance Scheme) ist ein an der GKSS entwickeltes SVAT-Modell (Mengelkamp et al., 1999). Mit SEWAB wurden u.a. Vergleiche im internationalen Experiment PILPS (Wood et al., 1998, Liang et al., 1998, Lohmann et al., 1998) durchgeführt.

3.2 Arbeitspakete und Meilensteinplanung

Entsprechend dem Balkenplan setzt sich der von GKSS beantragte Projektbeitrag aus 12 Arbeitspaketen zusammen, die damit auch die Meilensteine definieren.

1. Projektstart:
Kick-Off Meeting in Bonn. Koordinierende Absprachen mit allen Projektbeteiligten und externen Partnern
2. Vorbereitung Experiment Cabouw:
Der wesentliche Beitrag ist hier die Anpassung der Partikelmesstechnik an das im Cabouw eingesetzte Flugzeug. Dies beinhaltet insbesondere ausgiebige Tests im Vorfeld. (Beitrag zum Arbeitspaket 2100 des Gesamtvorhabens)
3. Experiment Geesthacht-1:
Beteiligung des Wolkenradars an der CLIWA-NET Vorkampagne am Standort Geesthacht. Archivierung und Bereitstellung von Satellitendaten für die interne Nutzung und zur Weitergabe an die Projektpartner auf Nachfrage. (Beitrag zum Arbeitspaket 2100 des Gesamtvorhabens)
4. Experiment Geesthacht-2:
Beteiligung des Wolkenradars an der CLIWA-NET Vorkampagne am Standort Geesthacht. Archivierung und Bereitstellung von Satellitendaten für die interne Nutzung und zur Weitergabe an die Projektpartner auf Nachfrage. (Beitrag zum Arbeitspaket 2100 des Gesamtvorhabens)
5. Experiment Cabouw:
Durchführung des CLIWA-NET / 4D-Bewölkungshauptexperiments. Schwerpunkt bildet hier der Einsatz der Partikelmesstechnik, koordiniert mit den Wolkenradarmessungen und der Datenarchivierung von Satellitenüberflügen. (Beitrag zu den Arbeitspaketen 2100 und 2200 des Gesamtvorhabens)
6. NOAA-AVHRR Satellitenarchiv:
Aufzeichnung von NOAA-AVHRR Überflügen über dem BALTEX Gebiet während der Hauptmesskampagnen bei BALTEX BRIDGE. Satellitendatenaufbereitung für die Modellvalidierung und Analyse des Energie- und Wasserhaushaltes (siehe Arbeitspakete 10 und 11). Bereitstellung der Satellitendaten auf Anfrage der Projektpartner für den Einsatz 3D-Strahlungstransportmodelle und Entwicklung von Parametrisierungen. (Beitrag zum Arbeitspaket 4100 des Gesamtvorhabens)
7. 4D-Wolkenanalyse:
Auswertung der Experimentdaten in Synergie mit den Ergebnissen der Projektpartner zur gemeinsamen Erstellung eines 4D-Wolkendatensatzes zur Nutzung bei der Entwicklung von Parametrisierungen und zu deren Validierung beim Einsatz in den entsprechenden Modellen. (Beitrag zu den Arbeitspaketen 3200 und 4200 des Gesamtvorhabens)
8. 4D-Wolkenempfindlichkeitstests:
Parallel zur Datenauswertung (siehe Arbeitspaket 7) werden Empfindlichkeitstests mit dem Modellsystem HRM-SEWAB durchgeführt, um das Verhalten des Modells auf seine Empfindlichkeit bezüglich der 3D-Parametrisierungen zu testen. Gleichzeitig soll damit abgeschätzt werden welche Änderungen bei der Prognose des Wasserkreislaufes erwartet werden können. Ebenfalls sollen diese Empfindlichkeitstest Hilfestellung für das Arbeitspaket 7 leisten, indem sie spezifizieren welche Beobachtungsgrößen für die Entwicklung der 3D-Parametrisierungen entscheidend sind. (Beitrag zum Arbeitspaket 4200 des Gesamtvorhabens)
9. Entwicklung / Implementierung von 3D-Wolken Parametrisierung:

Die in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern aus den 4D-Wolkenanalysen (siehe Arbeitspaket 7) zu entwickelnde 3D-Wolkenparametrisierung wird in das HRM-SEWAB eingebaut und auf Plausibilität entsprechend der Vorarbeiten in Arbeitspaket 8 geprüft.
(Beitrag zum Arbeitspaket 4100 des Gesamtvorhabens)

10. Validierung und Analyse 4D-Wolkeneffekte:

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wird das HRM-SEWAB mit der 3D-Wolkenparametrisierung an Hand von Satellitendaten und der 4D-Wolkenanalyse (Arbeitspaket 7) geprüft. Die validierte Parametrisierung wird der Wissenschaftsgemeinschaft zur Verfügung gestellt.

(Beitrag zum Arbeitspaket 4200 des Gesamtvorhabens)

11. Analyse des Einflusses 4D-Wolken auf den Energie- und Wasserkreislauf:

Modellrechnungen mit dem HRM-SEWAB mit und ohne 3D-Wolkenparametrisierung werden für das BALTEX Gebiet durchgeführt. Damit soll abschließend bewertet werden, welchen Stellenwert der Einfluss der 4D-Bewölkung auf die Wassertransporte in Regionalmodellen hat.

(Beitrag zum Arbeitspaket 4300 des Gesamtvorhabens)

12. Projektabschluss:

Zusammenfassen der Ergebnisse, Erstellung des Abschlussberichtes.

Meilensteine gibt es jeweils zum Abschluss wichtiger Arbeitspakete. Die dabei erzielten Ergebnisse werden auf den Projekttreffen dargestellt und abschließend in gemeinsamen Veröffentlichungen der Wissenschaftsgemeinschaft zur Verfügung gestellt:

M-1: Nach Abschluss von AP-5 zur Zusammenfassung der Ergebnisse der Messkampagnen.

M-2: Nach Abschluss von AP-8 zur Vorstellung der Modellempfindlichkeiten.

M-3: Nach Abschluss von AP-7 zur Vorstellung der 4D-Wolkenanalyse

M-4: Nach Abschluss von AP-9 zur Vorstellung der 3D-Wolkenparametrisierung in HRM-SEWAB

M-5: Nach Abschluss von AP-10 zur Analyse der 4D-Wolkeneffekte und Bereitstellung der 3D-wolkenparametrisierung für die Wissenschaftsgemeinschaft

M-6: Nach Abschluss von AP-11 zur Bewertung welchen Einfluss die 4D-Bewölkung auf die Prognose von Wassertransporten hat

3.3 Zusammenarbeit mit Dritten

Entsprechend den Ausführungen im obigen Antrag ist dieses Projekt auf eine enge Zusammenarbeit mit den Projektpartnern angewiesen. Entsprechend den BMBF Vorgaben wurde diese im Vorfeld durch einen Kooperationsvertrag geregelt. Neben den direkt am Projekt beteiligten Gruppen gibt es weiterhin eine Zusammenarbeit mit dem sogenannten „Nordverbund“. In diesem losen Verbund haben sich Wissenschaftsinstitutionen aus dem Norden – Universitäten wie z.B. Hamburg, Bremen, Hannover und Forschungseinrichtungen wie AWI, MPI, GKSS – zusammengefunden, um ihre Kapazitäten gemeinsam zur Untersuchung von Wolken zu nutzen. Der Nordverbund wird sich auch an den Experimenten in Geesthacht (siehe AP-3 und AP-4) beteiligen.

Neben zusätzlichen nationalen Partnern besteht auch eine enge Zusammenarbeit mit internationalen Gruppen. Insbesondere ist hier die Deutsch-Kanadische Zusammenarbeit zu erwähnen, in der GKSS mit seinen Arbeitsgruppen Partikelmessungen (Frau Dr. Nagel), regionale Modellierung (Dr. Rockel) und Satellitenfernerkundung (Dr. Stuhlmann) im Verbund mit kanadischen Partnern bei AES, Toronto (Dr. Strapp), McGill University (Prof. Yau, Prof. Leighton) Messungen und Modellierung zusammenführt.

Die Radargruppe steht im ständigen Austausch mit US-amerikanischen und europäischen Partnern. Hier sind die engen Kontakte zu den Arbeitsgruppen Prof. Clothiaux und Prof. Ver-

linde (Pennsylvania State University), Prof. Mace und Prof. Sassen (Univ. of Utah) zu nennen. Gemeinsame Projekte werden mit Dr. Testud (Institut Pierre Simon Laplace; Paris) und Dr. Illingworth (Univ. Reading) durchgeführt.

Die im Rahmen des AFO2000 Verbundprojekts MODMEP entwickelten Algorithmen zur Beschreibung der Wolkenmikrophysik bieten in der zweiten Phase der AFO2000-Laufzeit die Möglichkeit, eine verbesserte Wolkenmikrophysik zur Verfügung zu stellen. Es ist geplant, dass sich 4DWOLKEN und MODMEP durch gegenseitige Teilnahme an Workshops stets über die aktuellen Entwicklungen in den Verbänden unterrichten. Ein späterer Einbau (2. Phase von AFO2000) von MODMEP-Mikrophysikmodulen in das Regionalmodell HRM/REMO erscheint daher sehr wünschenswert.

4 Erfolgsaussichten

4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Das Projekt ist Teil des Verbundprojektes „4D-Wolken“ in dem neben verschiedenen Universitäten auch der Deutsche Wetterdienst mit eingebunden ist. Damit ist bei erfolgreichem Abschluss des Projektes eine schnelle Überführung der Ergebnisse in die operationelle Wettervorhersage gegeben.

Neben den wirtschaftlichen Auswirkungen einer verbesserten Wettervorhersage wird ein direkter Nutzen der Arbeiten in den Bereichen Luftfahrt und Telekommunikation erwartet. Die Vereisung von Flugzeugen wird als einer der wesentlichen Risikofaktoren der heutigen Luftfahrt angesehen. Die aus den Ergebnissen ableitbaren Aussagen zur Existenz und Lokalisierung von unterkühltem Wasser in der Atmosphäre können als Grundlage für verbesserte Verfahren zur Detektierung und Vorhersage von Vereisungsbedingungen dienen und damit der Luftfahrt eine effizientere Routenplanung ermöglichen.

In der Telekommunikation ist ein Verlangen nach immer höheren Trägerfrequenzen zu verzeichnen, zum Teil, um den eng besetzten herkömmlichen Frequenzbändern auszuweichen, zum Teil auch, um große Bandbreiten für z.B. Videosignalübertragungen zu ermöglichen. So besteht schon großes Interesse das Ka-Band zu nutzen. Bei diesen Frequenzen wird allerdings die Ausbreitung elektro-magnetischer Strahlung durch Wolkenwasser dämpfend beeinträchtigt. Somit ist die räumliche Verteilung und Struktur von Wasserwolken entlang von Ausbreitungspfaden von direktem Interesse für die Telekommunikationsindustrie.

4.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Das Risiko eines Fehlschlages für den von GKSS vorgeschlagenen Beitrag wird als gering eingestuft, da Beobachtungsmethoden und Modellsystem bereits erfolgreich eingesetzt wurden.

AVHRR Daten werden bei GKSS seit 1993 ohne signifikante Ausfälle durch Fehler oder Wartung sowohl der Empfangsanlage als auch des Archivierungssystems aufgezeichnet. Es besteht ein Risiko bezüglich des Startes und möglicher Fehler der Instrumente von ENVISAT. Dieses Risiko ist etwas geringer für MSG, da sechs Monate nach dem ersten Start MSG-2 in seine Umlaufbahn geschickt wird und gegebenenfalls bei einem Fehlschlag von MSG-1 sofort dessen Aufgaben übernimmt. Bei einer erfolgreichen Mission von ENVISAT und MSG ist die Datenverfügbarkeit bei GKSS über die beiden Projektvorschläge AO-ID 348 für ENVISAT und AO-ID 137 für MSG, die positiv begutachtet und von EUMETSAT und ESA ausgewählt wurden, gewährleistet.

Das bei GKSS betriebene Wolkenradar ist ein sehr komplexes und teures Gerät. Obwohl es seit 1996 ohne längere Störungen von GKSS betrieben werden konnte, verbleibt ein gewisses Risiko für einen Fehlschlag für ein solches Instrument. Im Falle eines Ausfallens zentra-

ler Komponenten muss man erwarten, dass die Reparatur langwierig und sehr kostspielig sein kann. Gelder für eine solche Situation stehen derzeit nicht gesichert zur Verfügung und müssen im Falle des Eintretens intern bei GKSS ausgehandelt werden.

Die vorhandene in situ-Partikelmesstechnik ist durch Leihgaben anderer Institute (MPIfM Hamburg, AWI) im Institut für Atmosphärenphysik z.t. mehrfach bzw. mit sich überlappenden Messbereichen vorhanden, so dass selbst im Falle eines Totalausfalls jederzeit Ersatz vorhanden ist. Die Datenqualität wird durch die langjährigen Erfahrungen bei der Anpassung der Sonden an das jeweilige Flugzeug und die sorgfältige Kalibrierung durch GKSS sichergestellt. Die technischen Erfolgsaussichten sind somit durch die Partikelmesstechnik nicht beeinträchtigt.

Die Modellkomponenten des HRM/REMO und SEWAB sind in den letzten Jahren in verschiedenen Projekten entwickelt und validiert worden, unter anderen in dem BMBF-Projekt "Bestimmung des regionalen Energie- und Wasserhaushaltes über dem Ostsee-Einzugsgebiet". Die dabei erarbeitete Expertise ist die Grundlage für eine erfolgreiche Anwendung der Modelle in diesem Projekt.

4.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die in diesem Vorhaben erstellten Parametrisierungen inhomogener Bewölkung für Atmosphärenmodelle, die keine kleinskaligen Wolken auflösen können (z.B. Globalmodelle für Kurz- und Mittelfristvorhersage, sowie globale und regionale Klimamodelle), werden an die Betreiber solcher Modelle weitergegeben.

Gemeinsame Veröffentlichungen der Ergebnisse dieses Vorhabens mit den Partnern aus dem 4DWOLKEN-Projekt und aus CLIWA-NET sind angestrebt.

5 Literatur

- Ahrens, B., U. Karstens, B. Rockel and R. Stuhlmann, 1998:** On the validation of the atmospheric model REMO with ISCCP data and precipitation measurements using simple statistics. *Meteorol. Atm. Phys.*, **68**, 127-142.
- Albers, F., A. Reuter, U. Maixner, L. Levkov, E. Raschke, and I. Sednev, 1999:** Horizontal Inhomogeneities in Clouds and their Effect on Remote Particle Measurements, *Phys. Chem. Earth(B)*, **24**, 3, 197 – 202.
- Barkstrom, B.R., 1984:** The earth radiation budget experiment, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **65**, pp. 1170-1185.
- Barker, H.W., and B.A. Wielicki, 1997:** Parameterizing grid-averaged longwave fluxes for inhomogeneous marine boundary layer clouds, *J. Atmos. Sci.*, **54**, pp. 2785-2798.
- Barker, H.W., G.L. Stephens, and Q. Fu, 1999:** The sensitivity of domain-averaged solar fluxes to assumptions about cloud geometry, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **125**, pp. 2127-2152.
- Buschmann, N. and F. Albers, 2000:** Spatial Inhomogeneities of Cirrus Clouds as Derived from In Situ Ice Particle Measurements, *Phys. Chem. Earth(B)*, **25**, 2, 77 - 81.
- Crains, B., A. A. Lacis, and B. E. Carlson, 2000:** Absorption within inhomogeneous clouds and its parametrisation in general circulation models, *J. Atmos. Sci.*, **57**, pp. 700-714.
- Coley, P.F., and P.R. Jonas, 1997:** The contribution of cloud inhomogeneities and droplet concentration to the albedo of broken cloud fields, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **123**, pp. 1931-1944.
- Danne, O., G.G. Mace, E.E. Clothiaux, X. Dong, T.P. Ackerman, and M. Quante, 1996:** Observing structures and vertical motions within stratiform clouds using a vertical pointing 94 GHz cloud radar. *Contr. Atmos. Phys.*, **69**, 229-237.
- Danne, O., M. Quante, D. Milferstädt, H. Lemke, and E. Raschke, 1999a:** Relationships between Doppler spectral moments within large-scale cirro- and altostratus cloud fields observed by a ground-based 95 GHz cloud radar. *J. Appl. Meteor.*, **38**, pp. 175-189.

- Danne, O., M. Quante, E. Raschke, and C. Weitkamp, 1999b:** Investigations of cloud layer base and top heights from 95 GHz radar reflectivity data. *Phys. Chem. Earth (b)*, **24**, 167-171.
- Darnell, W.L., W.F. Staylor, S.K. Gupta, N.R. Richey, and A.C. Wilber, 1996:** Surface radiation budget: A long-term global dataset of shortwave and longwave fluxes, *American Geophysical Union*, http://www.agu.org/eos_elec/95206e.html.
- Fujiyoshi Y, Quante M, Danne O, Raschke E, 1999:** Properties of Deep Stratiform Ice Cloud Revealed by 95 GHz Cloud Radar - A Case Study. *Contr. Atmos. Phys.*, **72**, 113-125.
- Graham, N.E., 1995:** Simulating recent global temperature trends, *Science*, **26**, pp. 666-671.
- Hollmann, R., J. Mueller, B. Rockel and R. Stuhlmann, 1999a:** Satellite retrieved clouds and the radiation budget in support of BALTEX regional studies, *Phys. Chem. Earth (B)*, **24**, pp111-115.
- Hollmann, R., J. Feng, H.G. Leighton, J. Mueller, and R. Stuhlmann, 1999b:** ScaRaB as a valuable tool for BALTEX and MAGS, *Adv. Space. Res.*, **24**, No 7, pp.955-958.
- Hollmann, R., J. Mueller, and R. Stuhlmann, 2000:** A regional Earth Radiation Budget derived with ScaRaB for validation purposes in BALTEX, *Phys. Chem. Earth (B)*, **25**, No.2, pp.69-72.
- Kandel, R.S., M. Viollier, P. Raberanto, J.Ph. Duvel, L.A. Pakhomov, V.A.Golovko, A.P. Trishenko, J. Mueller, E. Raschke and R. Stuhlmann, 1998:** The ScaRaB Earth radiation budget dataset, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, pp. 765-783.
- Karstens, U., R. Nolte-Holube and B. Rockel, 1996:** Calculation of the water budget over the Baltic Sea catchment area using the regional forecast model REMO for June 1993. *Tellus*, **48A**, 684-692.
- Lelieveld J. and P.J. Crutzen, 1991:** The role of clouds in tropospheric photochemistry, *Journal of Atmospheric Chemistry*, **12**, pp. 229-267.
- Lemke, H., O. Danne, M. Quante, E. Raschke, R.Girard, and P. Park, 1997:** Study on critical requirements for a cloud profiling radar. Final Report: ESTEC Contract No. 11327/94/NL/CN, European Space Agency/ESTEC, Noordwijk, Netherlands.
- Lemke, H., H. Okamoto, M. Quante, 1998:** Comment on error analysis of backscatter from discrete dipole approximation for different ice particle shapes [Liu, C.-L., A.J. Illingworth, 1997, *Atmos. Res.*, **44**, 231-241.]. *Atmos. Res.*, **49**, 189-197.
- Lemke, H., and M. Quante, 1999:** Backscatter characteristics of nonspherical ice crystals: Assessing the potential of polarimetric radar measurements. *J. Geophys. Res.* Vol. **104**, No. D24, p. 31,739-31,752.
- Levkov, L., B. Rockel, H. Kapitzka, and E. Raschke, 1992:** 2D meso-scale numerical studies of cirrus and stratus clouds by their time and space evolution. *Contib. Atmos. Phys.*, **65**, pp. 35-58.
- Liang, X., Wood, E.F., Lettenmaier, D.P., Lohmann, D., Boone, A., Chang, S., Dai, Y., Desborough, C., Dickinson, R.E., Duan, Q., Ek, M., Gusev, Y., Habets, F., Irannejad, P., Koster, R., Michell, K., Nasonova, O.N., Noilhan, J., Schaake, J., Schlosser, A., Shao, Y., Shmakin, A., Verseghy, D., Warrach, K., Wetzels, P., Xue, Y., Yang, Z.-L., and Zeng, Q., 1998:** The Project for Intercomparison of Land-Surface Parameterization Schemes (PILPS) Phase-2(c) Red-Arkansas River Basin Experiment: 2. Spatial and Temporal Analysis of Energy Fluxes. *Journal of Global and Planetary Change*, Special Issue: Coupling Land and Atmosphere, **19**, pp. 137-160.
- Lohmann, D., R. Nolte-Holube and E. Raschke, 1996:** A large-scale horizontal routing model to be coupled to land surface parameterization schemes. *Tellus*, **48**, 708-721.
- Lohmann, D., Lettenmaier, D.P., Liang, X., Wood, E.F., Boone, A., Chang, S., Dai, Y., Desborough, C., Dickinson, R.E., Duan, Q., Ek, M., Gusev, Y., Habets, F., Irannejad, P., Koster, R., Michell, K., Nasonova, O.N., Noilhan, J., Schaake, J., Schlosser, A., Shao, Y., Shmakin, A., Verseghy, D., Warrach, K., Wetzels, P., Xue, Y., Yang, Z.-L., and Zeng, Q., 1998:** The Project for Intercomparison of Land-Surface Parameterization Schemes (PILPS) Phase-2(c) Red-Arkansas River Basin Experiment: 3. Spatial and Temporal Analysis of Water Fluxes. *Journal of Global and Planetary Change*, Special Issue: Coupling Land and Atmosphere, **19**, pp. 161-179.

- Los A., M. van Weele, and P.G. Duynkerke, 1997:** Actinic fluxes in broken cloud fields, *JGR*, **102**, pp. 4257-4266.
- Masuda, K., T. Kobayashi, E. Raschke, F. Albers, W. Koch, U. Maixner, 1999:** Short-wave radiation flux divergence in arctic cirrus: a case study, *Atmos. Res.*, im Druck.
- Mengelkamp., H.-T., Warrach, K., and Raschke, E.,1999:** SEWAB - a parameterization of the Surface Energy and Water Balance for atmospheric and hydrologic models. *Advances in Water Resources*, **23**, pp. 165-175
- Müller, J., R. Stuhlmann, R. Becker, E. Raschke, J.-L. Monge, and P. Burkert, 1996:** Ground-based calibration facility for the Scanner for Radiation Budget instrument in the solar spectral domain, *Metrologia*, **32**, 657-660.
- Müller, J., R. Stuhlmann, R. Becker, E. Raschke, H. Rinck, P. Burkert, J.-L. Monge, and F. Sirou, 1997:** Ground characterization of the scanner for radiation budget (ScaRaB) flight model 1, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **Vol. 14**, No. 4, pp. 802-813.
- Müller, J., R. Stuhlmann, and R. Hollmann, 1999:** Comparison of ScaRaB narrowband visible channel with other satellite instruments, *Adv. Space Res.*, **Vol. 23**, No.8, pp.1425-1434
- Müller, J., R. Stuhlmann, K. Dammann, R. Hollmann, J.E. Harries, S. Kellock, R. Mossavati, R. Wrigley, D. Crommelynck, S. Dewitte, P. Allan, M. Caldwell, and E. Sawyer, 1999:** GERB: an Earth radiation budget instrument on second generation METEOSAT, *Adv. Space. Res.*, **Vol. 24**, No 7, pp.921-924.
- Noel, V., H. Chepfer, P.H. Flamant, M. Quante, O. Danne, V. Giraud, and J. Pelon, 2000:** Retrieval of particle sizes in cirrus clouds by active and passive remote sensing techniques: the 29 April and 14 May case studies of CARL. Submitted to *J. of Appl. Meteor.*
- Okamoto, H., A. Macke, M. Quante, E. Raschke, 1994:** Modeling of backscattering by non-spherical ice particles for the interpretation of cloud radar signals at 94 GHz. An error analysis. *Contr. Atmos. Phys.*, **68**, 319-334.
- Pereira, E.A., F.R. Martins, R. Stuhlmann, S.L. Abreu, P. Couto, and S. Colle, 1999:** Biomass burning controlled modulation of the solar radiation in Brazil, *Adv. Space. Res.*, **Vol. 24**, No 7, pp.971-975.
- Pereira, E.A., F.R. Martins, S.L. Abreu, P. Couto, R. Stuhlmann, and S. Colle, 2000:** Effects of burning biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil, *Solar Energy*, **68**, pp. 91-107.
- Quante, M., and D. O’C. Starr, 2000:** Dynamical processes in cirrus clouds: A review of observational Results. In: D. Lynch, K. Sassen, D.O’C. Starr, G. Stephens (eds.): *Cirrus*. Oxford University Press, New York, (*in press*).
- Quante, M., P.R.A. Brown, R. Baumann, B. Guillemet, and P. Hignett, 1996a:** Three aircraft intercomparison of dynamical and thermodynamical measurements during the PREUCREX campaign. *Contr. Atmos. Phys.*, **69**, pp. 129-146.
- Quante, M., O. Danne, E. Raschke, I. PopStefania, and A. Pazmany, 1996b:** Observations of cloud structure with a 3.2 mm-wave radar. Proceedings 12th International Conference on Clouds and Precipitation, Zürich, Schweiz, Vol. 1, 424-427.
- Quante, M., J.P.V. Poyares Baptista, and E. Raschke, (eds.), 1998a:** Synergy of Active Instruments in the Earth Radiation Mission. Proceedings of ESA/GKSS Workshop, 12.-14. November 1997, ESA EWP-1968, GKSS 98/E/10, 205pp, (ISSN 0344-9629).
- Quante, M., O. Danne, H. Lemke, D. Milferstädt und E. Raschke, 1998b:** Fernerkundung stratiformer Bewölkung mit einem 95 GHz polarimetrischen Dopplerradar. *Kleinheubacher Berichte*, **41**, 234-239.
- Quante, M., O. Danne, H. Flentje, W. Renger, and P. Francis, 1999:** Cloud boundaries and structure in mixed phase, mid-level clouds as deduced from ground-based 95 GHz radar and airborne lidar measurements during CLARE’98. ESA-ESTEC Report, WPP-170, 81-88.
- Raschke, E., F. Albers, G. Brogniez, M. Debois, P. Flamant, P. Francis, Y. Fouquart, J.-F. Gayet, H. Isaka, P. Jonas, R. Kandel, M. Quante, J. Ström, R. Stuhlmann, H. Sundquist and P. Wendling, 1997:** European Cloud and Radiation Experiment

- (EUCREX) - Final Report on the project EV5V-CT92-0130 EUCREX-2, **GKSS 97/E/8**, 155pp.
- Raschke, E., U. Karstens, R. Nolte-Holube, R. Brandt, H.-J. Isemer, D. Lohmann, M. Lobmeyr, B. Rockel and R. Stuhlmann, 1998:** The Baltic Sea Experiment BALTEX: A Brief Overview and some Selected Results of the Authors. *Surveys in Geophysics*, **19**, 1-22.
- Reuter, A. and S. Bakan, 1998:** Improvements of Cloud Particle Sizing with a 2D-Grey Probe, *Jour. Atmos. Oceanic Techn.*, **15**, 1196 – 1203.
- Rossow W. B., and R. A. Schiffer, 1999:** Advances in understanding clouds from ISCCP, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, pp. 2261-2287.
- Ryan, B.F., J.J. Katzfey, D.J. Abbs, C. Jakob, U. Lohmann, B. Rockel, L.D. Rotstajn, R.E. Stewart, K.K. Szeto, G. Tselioudis and M.K. Yau, 2000:** Simulations of a cold front by cloud-resolving, limited area and large-scale models, and a model evaluation using in-situ and satellite observations. *Mon. Wea. Rev.*, *in press*
- Schmetz, J., 1984:** On the parameterization of the radiative properties of broken clouds. *Tellus*, **36A**, pp. 417-432.
- Schrodin, R., G. Doms, W. Edelmann, E. Fischer, B. Frey, M. Gertz, A. Gube-Lenhardt, T. Hanisch, E. Heise, A. Link, D. Majewski, P. Prohl, B. Ritter, U. Schättler, 1995:** German Weather Service, Research Department, Documentation of the EM/DM-System.
- Soden, B.J., 1999:** The sensitivity of the tropical hydrological cycle to ENSO, *J. Clim.*, *in press*
- Sohn, B.-J., 1999:** Cloud-induced infrared radiative heating and its implications for large – scale tropical circulation, *J. Atmos. Sci.*, **56**, pp. 2657-2672.
- Starr, D. O’C., and M. Quante, 2000:** Dynamical processes in cirrus clouds: Concepts and models. In: D. Lynch, K. Sassen, D.O’C. Starr, G. Stephens (eds.): *Cirrus*. Oxford University Press, New York, (*in press*).
- Strapp, W., F. Albers, A. Reuter, A.V. Korolev, U. Maixner, E. Raschke, and Z. Vulkovic, 2000:** Laboratory Measurements of the Response of a PMS OAP-200X Probe, *eingereicht bei Jour. Atmos. Oceanic Techn.*
- Stuhlmann, R. and G.L. Smith, 1988a:** A study of cloud generated radiative heating and its generation of available potential energy. Part I: Theoretical background, *J. Atmos. Sci.*, **45**, pp.3911-3927.
- Stuhlmann, R. and G.L. Smith, 1988b:** A study of cloud generated radiative heating and its generation of available potential energy. Part II: Results for a climatological zonal mean January, *J. Atmos. Sci.*, **45**, pp. 3928-3943.
- Stuhlmann, R., B. Ahrens, U. Karstens, and B. Rockel, 1999:** ISCCP_DX products in support of BALTEX, *Adv. Space. Res.*, **Vol. 24**, No 7, pp. 949-954.
- Stuhlmann, R., 1999:** Satellite applications for energy budgets and the hydrological cycle, Ed. R. Stuhlmann, *Adv. Space. Res.*, **Vol 24**, , No 7, pp. 885-975.
- Weitkamp, C., H. Flint, W. Lahmann, F.A. Theopold, O. Danne, M. Quante, and E. Raschke, 1999:** Simultaneous radar and lidar cloud measurements at Geesthacht (53.5° N, 10.5° E). *Phys. Chem. Earth (B)*, **24**, pp. 163-166.
- Wood,E.F. , Lettenmaier, D.P., Liang, X., Lohmann, D., Boone, A., Chang, S., Dai, Y., Desborough, C.,Dickinson, R.E., Duan, Q., Ek, M., Gusev, Y., Habets, F.,Irannejad, P.,Koster, R., Michell, K., Nasonova, O.N., Noilhan, J., Schaake, J., Schlosser, A., Shao, Y.,Shmakin, A., Versegny, D., Warrach, K., Wetzal, P., Xue, Y., Yang,Z.-L., and Zeng, Q.,1998:** The Project for Intercomparison of Land-Surface Parameterization Schemes (PILPS)Phase-2(c) Red-Arkansas River River Experiment:1.Experiment Description and SummaryIntercomparisons. *Journal of Global and Planetary Change*, Special Issue: Coupling Landand Atmosphere, **19**, pp. 115-136.
- Zhang, Y., B. Rockel, R. Stuhlmann, R. Hollmann, and U. Karstens, 2000:** REMO cloud modelling: Improvements and validation with ISCCP DX data, submitted to Journal of Applied Meteorology

6 Abkürzungen

AES	Atmospheric Environment Service
ARTIST	Arctic Radiation and Turbulence Interaction Study
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BALTEX	Baltic Sea Experiment
BRIDGE	The Main BALTEX Experiment, planned for 1999-2001
CARL	Cloud Analysis from Ground-Based and Airborne Radar and Lidar
CLARE	Cloud Lidar and Radar Experiment
CLIWA-NET	BALTEX Cloud Liquid Water Network
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECMWF	European Center for Medium Range Weather Forecast
ENVISAT	Environmental Satellite
ERBE	Earth Radiation Experiment
ERM	Earth Radiation Mission
ESA	European Space Agency
EUCREX	European Cloud and Radiation Experiment
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
EURICE	European Research for aircraft Ice Certification
FSSP	Forward Scattering Probe
GCM	General Circulation Model
GCSS	GEWEX Cloud System Study
GERB	Geostationary Earth Radiation Budget
GESIMA	Geesthachter Simulationsmodell der Atmosphäre
GEWEX	Global Energy and Water Cycle Experiment
HRM	High-resolution Regional Model
ICE	International Cirrus Experiment
ISCCP	International Satellite Cloud Climatology Project
MPI	Max-Planck-Institut
MSG	Meteosat Second Generation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration
OAP	Optical Array Probe
PIDCAP	Pilot Study for Intensive Data Collection and Analysis of Precipitation
PILPS2C	Project for Intercomparison of Land Surface Parameterization Schemes
PMS	Particle Measurement Systems Inc.
REFLEX	Radiation and Eddy Flux Experiment
REMO	Regionalmodell
ScaRaB	Scanner for Earth Radiation Budget
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
SEWAB	Surface Energy and Water Balance Scheme
SVAT	Soil- Vegetation- Atmosphere- Transfer- Model
WCRP	World Climate Research Programme

7 Balkenplan

