

Programm Atmosphäre und Klima

	Ist 2002	Soll 2003	Soll 2004
Vollkosten (Mio. €)	21,4	27,0	22,0

Mittelfristige Ziele

Die Atmosphäre spielt eine wesentliche Rolle im sich verändernden Erdsystem. Sie verbindet Geosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre und Anthroposphäre und beeinflusst die Lebensbedingungen auf der Erde vor allem über das Klima. Infolge zunehmender anthropogener Emissionen und Landnutzungsänderungen hat sich die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre im Laufe der letzten hundert Jahre stark verändert. Es gibt deutliche Hinweise, dass menschliche Aktivitäten schon jetzt zu globalen Klimaänderungen und zu einer Ausdünnung der Ozonschicht geführt haben, mit ernstesten Konsequenzen für den Wasserkreislauf, die Häufigkeit extremer Wetterereignisse und die Biosphäre, die u.a. zunehmender UV-B-Strahlung ausgesetzt ist.

Die Emissionen von Treibhausgasen und Schadstoffen werden wegen der wachsenden Weltbevölkerung und des damit verbundenen höheren Energieverbrauchs und Nahrungsmittelbedarfs weiter zunehmen. Infolge dessen werden sich die Klimaänderungen und deren Auswirkungen auf die Lebensbedingungen des Menschen - Lebensmittelerzeugung, Zustand der Ökosysteme, Wasserverfügbarkeit – weiter verschärfen. Die daraus resultierenden sozioökonomischen Auswirkungen erfordern die Entwicklung und Umsetzung wirksamer Eindämmungs- und Anpassungsstrategien. Diese Aufgabe lässt sich nur erfolgreich bewältigen, wenn ein grundlegendes Verständnis der Atmosphäre und deren Wechselwirkungen mit den einzelnen Sphären erreicht und damit eine qualitativ hochwertige Vorhersage des künftigen atmosphärischen Zustands möglich wird.

Trotz großer Fortschritte in der Atmosphärenforschung in den letzten beiden Jahrzehnten lassen sich Klimaänderungen bisher nicht zuverlässig vorhersagen, was an dem noch lückenhaften Verständnis der komplexen Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen der Atmosphäre und anderen Kompartimenten des Erdsystems liegt. Mittelfristiges Ziel des Programms „Atmosphäre und Klima“ ist es daher, die bestehenden Kenntnislücken zu reduzieren und damit eine wissenschaftliche Basis für politische Entscheidungen zum Klimaschutz zu schaffen. Um dieser nationalen und internationalen Herausforderung zu genügen wird ATMO seine Aktivitäten auf folgende Themen konzentrieren: Die atmosphärische Dynamik und den atmosphärischen Wasserkreislauf, die natürlichen und anthropogenen Emissionen sowie deren Auswirkungen auf die Oxidationsfähigkeit der Atmosphäre, den Einfluss der Klimaänderungen auf naturnahe Regionen und Ballungsgebiete, Veränderungen in der Tropopausenregion und in der Stratosphäre und deren Rückwirkungen auf das Klimasystem.

Zur Erreichung der Ziele verfolgt das Programm ATMO einen interdisziplinären und integrativen Ansatz, in dem Laboruntersuchungen, Feldmesskampagnen und Langzeitbeobachtungen der Atmosphäre mit Modellsimulationen kombiniert werden. Es stützt sich dabei auf die wissenschaftliche Expertise und die Erfahrung der beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und auf die einzigartige Infrastruktur des Forschungszentrums, wie z.B. die Aerosolkammer AIDA, das satellitengetragene Fourierspektrometer MIPAS, Messstationen für Vertikalsondierungen und Langzeitbeobachtungen, sowie komplexe regionale Klimamodelle. Zielführend sind auch die traditionsgemäß intensiven Kooperationen im Rahmen nationaler und internationaler Forschungsprogramme.

Das Programm „Atmosphäre und Klima“ des Forschungszentrums ist eingebunden in das gleichnamige Helmholtz-Programm. Es bestehen vielfältige Verbindungen mit anderen Programmen des Helmholtz-Forschungsbereichs „Erde und Umwelt“, die im Rahmen gemeinsamer Vorhaben kontinuierlich weiterentwickelt werden sollen.

Aktueller Stand

Das Programm ATMO wurde im Frühjahr 2003 von einer internationalen Gutachterkommission evalu-

iert und in seiner Gesamtheit und Struktur uneingeschränkt bestätigt. Teile des Programms wurden der „internationalen Spitzenforschung“ zugeordnet.

Der Erforschung des Wasserkreislaufs wird hohe Priorität eingeräumt, da Wasserdampfverteilung, Wolken und Niederschlag sowie die damit verbundenen Energietransporte nach wie vor zu den quantitativ am wenigsten verstandenen Komponenten des Klimasystems gehören. Das derzeit wichtigste Projekt auf diesem Forschungsgebiet ist das Vorhaben VERTIKATOR (Vertikaler Austausch und Orographie), bei dem Vorgänge am Boden, in der atmosphärischen Grenzschicht und in der freien Troposphäre bei hochreichender Konvektion untersucht werden. Diese Aktivitäten sollen in dem großen HGF-Feldexperiment TRACKS (Transport und chemische Umsetzungen in konvektiven Systemen) fortgesetzt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse über die atmosphärischen Prozesse werden zur Weiterentwicklung regionaler Klimamodelle genutzt.

Ein weiterer Themenbereich umfasst die Aufklärung des komplexen Verhaltens der terrestrischen Biosphäre und deren Wechselwirkung mit der Atmosphäre. In diesem Kontext werden die Quell- und Senkenstärken umweltrelevanter Spurenstoffe aus natürlichen und landwirtschaftlich genutzten Ökosystemen untersucht. Aufbauend auf diese Ergebnisse wird ein gekoppeltes Klima/Biosphäre/Hydrologie/Chemie-Modellsystem entwickelt, mit dem die Auswirkungen der globalen Klimaänderungen auf Ökosysteme berechnet und die daraus resultierenden ökologischen und sozio-ökonomischen Folgen abgeschätzt werden.

Im Rahmen der Arbeiten zur Dynamik und Chemie der Troposphäre wurden Studien zur Photo-smogbildung in orographisch komplexem Gelände und der Einfluss von Inversionswetterlagen auf die Luftverschmutzung in Ballungsgebieten (u.a. Megacities) untersucht. Umfangreiche Aerosolkammerexperimente haben in Verbindung mit Modellsimulationen zu Erkenntnissen über die Klimawirksamkeit von Ruß-Aerosolen geführt. Langfristig angelegte Messungen an Stationen in der Nord- und Südhemisphäre liefern einmalige Datensätze über die zeitliche Veränderung von Spurenstoffen in der Atmosphäre.

Wegen des gravierenden Datenmangels aus der Tropopausenregion wurden im Rahmen des CARIBIC-Projekts mit einem Messcontainer an Bord eines Linienflugzeugs vielfältige Messungen in diesem Höhenbereich durchgeführt. Aus den gewonnenen Daten wurde der Ozonfluss über die extratropische Tropopause hinweg im Vergleich mit der Ozonproduktion in der Troposphäre abgeschätzt. Zum Studium der physikalischen und chemischen Prozesse in der Stratosphäre wurden, unterstützt durch Untersuchungen der Bildungsdynamik polarer stratosphärischer Wolkenpartikel in der AIDA-Simulationskammer und durch Modellsimulationen mit dem KASIMA-Modell, u.a. Messungen am Rande des Polarwirbels mit den ballon- und flugzeuggetragenen MIPAS-Experimenten durchgeführt. Rückkopplungen auf das Klima werden mit prognostischen Modellen untersucht.

Die Forschungsarbeiten im Programm ATMO stützen sich auf eine hervorragende Infrastruktur. Dazu gehören technisch hochwertige Instrumente in Bodenstationen, auf Forschungs- und Linienflugzeugen, Ballongondeln und Satelliten. Herausragend ist dabei das vom IMK in seinen ersten Flugversionen entwickelte MIPAS-Experiment (Michelson Interferometer für passive atmosphärische Sondierung), das zurzeit auf ENVISAT die Erde umkreist und ausgezeichnete Messdaten über die räumliche Verteilung von Spurengasen und Partikeln in der Atmosphäre liefert. Die Aerosolkammer AIDA ermöglicht gezielte Experimente zur Entstehung von Partikeln und deren Wechselwirkungen mit Spurengasen bis zu stratosphärisch tiefen Temperaturen. Eine hervorragende Rolle spielt auch die traditionell hohe Kompetenz bei der Entwicklung und Anwendung regionaler Klimamodelle.

Zielgruppen und Dauer

Das Programm ATMO erforscht die Wirkungskette von den natürlichen und anthropogenen Emissionen bis hin zu deren Auswirkungen auf die Umwelt und das Klima. Dazu gehören auch Untersuchungen zur Vermeidung von ungewolltem globalem Wandel und zur Erarbeitung von Anpassungsstrategien. Zielgruppen des Programms sind die entsprechenden Entscheidungsträger in Industrie, Ministerien und Behörden, denen die gewonnenen Erkenntnisse zur Verfügung gestellt werden.

Beteiligte Institute und wiss.-techn. Hauptabteilungen:

IMK-TRO, IMK-ASF, IMK-AAF, IMK-IFU, IAI, IPE, ITC, ITAS, IFIA, IWR, HVT, MAP

Das Programm enthält zur Zeit die Programmt Themen:

12.01 Klima und Wasserkreislauf

- 12.02 Regionale Klimaänderungen und Auswirkungen
- 12.03 Spurenstoffe in der Troposphäre
- 12.04 Stratosphäre und Tropopausenregion im globalen Wandel.

12.01 Klima und Wasserkreislauf

Mittelfristige Ziele

Das Klima der Erde wird durch die Systemkomponenten Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Biosphäre und Pedosphäre und deren enge Beziehungen bestimmt und gesteuert. Das Teilsystem Atmosphäre umfasst als wichtige Teilkomponenten die atmosphärische Grenzschicht, den Boden und die Vegetation sowie Wolken- und Niederschlagssysteme, die unterschiedlichen Gesetzmäßigkeiten und vielen nichtlinearen Wechselwirkungen unterliegen. Die physikalischen und chemischen Prozesse der Atmosphäre sind infolgedessen durch ein Energiespektrum mit Beiträgen aus unterschiedlichsten Raum- und Zeitskalen geprägt. Den Prozessen unter Beteiligung von Wasser kommt hierbei eine herausragende Bedeutung zu. Nach wie vor gehören Wasserdampfverteilung, Wolken und Niederschlag sowie die damit verbundenen Energietransporte zu den quantitativ am wenigsten verstandenen Komponenten des Klimasystems. Deshalb wird der Erforschung des Wasserkreislaufs auch im Weltklimaforschungsprogramm hohe Priorität eingeräumt. Die Verdunstung und die Wolkenbildung liefern aufgrund der damit verbundenen Umsätze latenter Energie entscheidende Beiträge zum globalen Energiehaushalt. Dazu ist Wasserdampf das wirksamste natürlichste Treibhausgas. Durch den Anstieg der Wasserdampfkonzentration als Folge einer globalen Erwärmung wird der Klimaerwärmung durch Kohlendioxid und andere anthropogene Treibhausgase verstärkt. Die Strahlungseigenschaften von Wolken dämpfen andererseits bei einer Zunahme der Bewölkung durch negative Rückkoppelung den globalen Temperaturanstieg.

Das Regionalklima ist die spezifische regionale Abbildung des globalen Klimas und seiner Änderungen. Seine regionale Differenzierung ist nur durch regionale Einflussfaktoren wie Landschaftsform und Landnutzung detailliert erklärbar und in Modellen nur dann darstellbar, wenn anders als in globalen Modellen diese Faktoren explizit berücksichtigt werden. Regionale Klimate werden sich als Folge eines sich global ändernden Klimas und eines sich ändernden Wasserkreislaufs sehr unterschiedlich entwickeln, in ähnlicher Differenzierung wie dies bei Änderungen im letzten und früheren Jahrhundert beobachtet wurde. Die naturräumlichen Gegebenheiten einer Region sind verantwortlich für die Klimasensitivität. Die soziologischen und ökonomischen Bedingungen in verschiedenen Ländern wirken sich mit ihren politischen Maßnahmen in unterschiedlichem Grad auf die Klimabeeinflussung aus. Die größte unmittelbare Gefahr geht von einer Intensivierung der Prozesse im Wasserkreislauf durch häufigere Extremereignisse mit großem Schadenpotential aus. Die Folgen langsamer Klimaänderungen könnten in wichtigen Bereichen (z.B. Landwirtschaft, technische Infrastrukturen) durch Anpassungen gemildert werden. Dies ist vielen Entwicklungs- und Schwellenländern sowie in Regionen an klimatischen Trockenheits- und Kältengrenzen kaum möglich.

Das Programmthema erforscht die konstituierenden Prozesse des Klimas auf unterschiedlichen Skalen. Der gesamte Wasserkreislauf wird hierzu in ausgewählten Regionen anhand von Beobachtungsdaten und Modellen quantifiziert. Die Themen stehen in engem Bezug zu einem neuen DFG-Schwerpunktprogramm zur Verbesserung der Niederschlagsvorhersage, das in diesem Jahr eingerichtet wird. Die drei Vorhaben des Programmthemas sind untereinander und mit denen anderer Themen eng vernetzt.

Die mit dem Bodenwasser, der Erdoberfläche einschliesslich Vegetation und der atmosphärischen Grenzschicht verbundenen Vorgänge werden im Vorhaben 12.01.01 (Wechselwirkung Boden-Atmosphäre) untersucht. Das Forschungskonzept umfasst die Weiterentwicklung und Anwendung von boden-, flugzeug- und satellitengebundenen Messverfahren für die Bodenfeuchte, die physikalischen Eigenschaften von Landoberflächen und für die atmosphärische Grenzschicht. Im Vorhaben 12.01.02 (Konvektion und Wolkenprozesse) stehen skalenübergreifend konvektive Prozesse hinsichtlich der Transporte von Wasser, Energie und Spurenstoffen sowie die Klimarelevanz der Konvektion im Vordergrund. Hierbei werden die physikalischen Prozesse untersucht, die in Wolken und bei der Niederschlagsentstehung entscheidend sind. Hierzu zählen auch Simulationsexperimente in der AIDA Kammer zu der Frage, welche Aerosolpartikel geeignet sind, die Entstehung von Eisparkeln in unterkühlten Wolken durch heterogene Eisnukleation auszulösen. Enge Bezüge bestehen über die Konvektion bzw. die Wolken- und Niederschlagsphysik außerdem zu der Erforschung von atmosphärischen Naturgefahren, zum Vorhaben 12.03.02 (Chemie und Dynamik der Troposphäre) sowie, wegen der Bedeutung der Aerosole für die Eisbildung in Wolken, zum Vorhaben 12.03.03 (Aerosole und Klima). Das Vorhaben 12.01.03 (Prozess- und Klimamodellierung) stellt eine Integration vieler Arbeiten in den Vorhaben dar und umfasst auch methodische Grundlagenarbeiten zu numerischen Modellen. Mit prozessauflösenden und mesoskaligen Modellen werden die Vorgänge in enger Kopplung mit Messpro-

grammen simuliert. Aus Messungen abgeleitete Parametrisierungsverfahren werden unter anderem in einem Vorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes implementiert. Es ist beabsichtigt, ein neues regionales Klimamodell zu nutzen und gemeinsam mit anderen Institutionen weiter zu entwickeln.

Durch ausführliche Messprogramme, im Regelfall in Kooperation mit anderen nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen, sollen das Verständnis der relevanten Prozesse und deren Parametrisierung verbessert werden sowie geeignete Datensätze zum Modellvergleich gewonnen werden. Hierzu sind verbesserte Messverfahren, insbesondere für die Bodenfeuchte, für den Niederschlag und für die Struktur konvektiver Systeme, notwendig. Die vorhandenen Möglichkeiten der Modellierung mit KAMM¹ 1, KAMM 2 und SVAT-Modellen² werden in den genannten Vorhaben weiterentwickelt und durch Modelle anderer Einrichtungen erweitert (z.B. LM³ des DWD). Die Modelle werden anhand von detaillierten Prozessstudien der Wolkenbildung und der Konvektion in den laufenden Projekten ES-COMPTE und VERTIKATOR und den geplanten TRACKS-Großexperimenten der Helmholtzzentren überprüft und optimiert. Die regionalen Auswirkungen von Klimaänderungen werden zukünftig in verschiedenen integrativen Forschungsvorhaben (z.B. Nordwestchile, Westafrika) unter Beteiligung des Instituts untersucht werden.

Die Beschaffung eines großen deutschen Forschungsflugzeugs (HALO), wie es vom Wissenschaftsrat mit höchster Priorität empfohlen wird, ist von großer Bedeutung für die Durchführung passender Messprogramme wie der Turbulenz im Strahlstrombereich.

Die genaue Verteilung und der Transport von Wasserdampf und Flüssigwasser in der Atmosphäre wird aus Langzeitreihen an ausgewählten Stationen bestimmt und aus Satellitendaten abgeleitet. Mittelfristig soll die Entwicklung des Wasserkreislaufes im jetzigen und zukünftigen Klima für verschiedene Szenarien mit gekoppelten Klimamodellen beschrieben werden.

Aktueller Stand

Das wichtigste derzeitige Projekt ist das Vorhaben VERTIKATOR (Vertikaler Austausch und Orographie). Hierbei wurden die Vorgänge am Boden, in der Grenzschicht bis zur freien Troposphäre bei hochreichender Konvektion untersucht. Mit aufwendigen Messmethoden (z.B. mit Radarniederschlagsmessungen) werden die erforderlichen Größen gemessen, die zur Beschreibung der Massenf Flüsse bei hochreichender Konvektion benötigt werden. Durch Kombination der Daten aus den verschiedenen Messsystemen werden Prozessstudien durchgeführt, die mit der entsprechenden Darstellung in Modellen verglichen werden und zu deren Verbesserung beitragen. Weitere Untersuchungen werden in anderen Klimaregionen, z. B. in Chile im Projekt ENWARICL (**EN**ergy and **W**ater balance studies in the **AR**id area of La Serena/**ChiLe**) und Westafrika (AMMA, geplant) unternommen, um die empirischen Ansätze auch unter extremen Bedingungen auf Gültigkeit zu überprüfen. Die Beteiligung an verschiedenen Vorhaben der EU im 6. Rahmenprogramm wird vorbereitet oder ist bis zur Antragstellung gereift (u.a. EURO-RISK, VATICAN, ACCENT, AQUAMETRY).

Die zugehörigen Modellentwicklungen sind intensiv weiter verfolgt worden, um unter Vorgabe einer großräumigen Wetterlage die Strömungsbedingungen sowie die Temperatur- und Feuchteverteilung für regionale Räume und für typische Tagesabläufe berechnen zu können. Dabei ist die Atmosphäre über ein Boden-Vegetationsmodell mit dem mit Vegetation bedeckten Erdboden und ein neues Abflussmodell verknüpft, um die dynamischen, energetischen und wasserhaushaltsrelevanten Komponenten quantitativ bestimmen zu können. Wolken und Niederschlag können durch ein innovatives Wolkenphysikmodul effizient berechnet werden. Als mesoskalige Atmosphärenmodelle stehen die am Institut entwickelten nichthydrostatischen Modelle KAMM1 und KAMM2 mit Modellmodulen zur Behandlung gas- und partikelförmiger Stoffe sowie von Wolken sowie das Lokalmodell des DWD zur Verfügung.

Die beteiligten Institutsbereiche verfügen über verschiedene bodengebundene Fernerkundungssysteme zur Erfassung des Niederschlags (FM/CW-Dopplerradar, kontinuierlich betriebenes C-Band Doppler Radar), ein Radar-RASS-System, ein Doppler-Sodar, ein Aerosollidar und zukünftig ein modernes 36 GHz-Wolkenradar. Für Feldexperimente stehen 10 Turbulenzmesssysteme, 2 Energiebilanzstationen und Spurenstoffmessgeräte zur Verfügung sowie ein 200 m hoher Messmast für längerfristige Messungen. Für aerologische Messungen werden mehrere Radiosonden- und Fesselsondenstationen sowie Fallsonden eingesetzt. Die neu entwickelten Fallsonden haben sich bewährt, um genauere Bestimmungen des Feuchtegehalts in und außerhalb von Konvektionszellen durchzuführen. In enger Kooperation mit der Universität Braunschweig nutzt das Institut regelmäßig ein gemeinsam

¹ Karlsruher Atmosphärisches Mesoskaliges Modell

² Soil Vegetation Atmosphere Transport

³ Lokal-Modell

instrumentiertes Messflugzeug vom Typ Do128 mit Turbulenz-, Strahlung-, Chemie- und Fernerkundungsmessgeräten. Im Rahmen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit werden Großgeräte anderer Forschungseinrichtungen (Messflugzeuge, Fernerkundungsinstrumente), in Zukunft insbesondere auch das geplante neue Forschungsflugzeug HALO genutzt. In der Aerosolkammer AIDA wurden, bisher nur im Temperaturbereich unter -17°C , Experimente zur heterogenen Eisnukleation auf verschiedenen z.T. beschichteten Aerosolpartikeln durchgeführt, wobei mit einem Diodenlaser-System erstmals auch der interstitielle Wasserdampf mit hoher Zeitauflösung gemessen werden konnte. Bisher ergab sich kein Einfluss der Partikelbeschichtung auf die kritische Eisübersättigung, bei der Nukleation einsetzt. An der Implementierung der heterogenen Eisnukleation in die mikrophysikalische Prozessmodellierung wird gearbeitet.

Die Forschungsergebnisse der Bodenwasserbestimmung werden im Bereich der Deponietechnik und Bergwerkstechnik angewandt und der Einsatz des Deponiekontrollsystems TAUPE auf beliebige (nicht nur mineralische) Deponien erweitert (BW-PLUS-Projekt). Die Arbeiten zum EU-Projekt SNOWPOWER, die die Effektivität der Wasserkraftwerke und die Lawinenvorwarnung erhöhen sollen, werden durchgeführt.

Die Verfahren zur Auswertung thermischer Parameter (Temperaturtageswelle, nächtliche Abkühlung etc.) aus AVHRR- und METEOSAT-Daten für längere Zeiträume in Verbindung mit Geo-Parametern (Elevation, Vegetation) werden entwickelt. Die Atmosphärenkorrektur zur Ableitung von Landoberflächentemperaturen wurde erfolgreich mit neuronalen Netzen berechnet. Methoden zur Berücksichtigung des Emissionsvermögens bei der Bestimmung der Landoberflächentemperatur sind entwickelt und werden erprobt. Ansätze zur Strukturanalyse von Wolken sind erfolgversprechend und werden weiter entwickelt. Ein Konzept zur Validierung von Landoberflächentemperaturen aus MSG-Daten wird erarbeitet.

Zur Verbesserung der Kenntnisse über Prozesse, die auf der regionalen Skala Wetter und Klima bestimmen, werden sowohl das am Institut entwickelte kleinräumige Atmosphärenmodell KAMM2 als auch das größerskalige operationelle Lokalmittelmodell (LM) des Deutschen Wetterdienstes eingesetzt. KAMM2 zeichnet sich dadurch aus, dass es durch die Vorgabe offener Ränder besser für Prozessstudien, speziell für die Simulation kleinräumiger Vorgänge und hochreichender Konvektion, besonders geeignet ist und dass es neuartige Module zur Beschreibung der Wechselwirkung Boden/Vegetation, der Bodenhydrologie, von Aerosolprozessen, der Wolken- und Niederschlagsmikrophysik sowie von Transport und Ausbreitung chemisch reaktiver Substanzen enthält.

Arbeitsprogramm für 2004

a) Wechselwirkung Boden – Atmosphäre (Vorhaben 12.01.01)

- Die während des Feldexperimentes VERTIKATOR erstellten meteorologischen Datensätze sollen zusammen geführt und analysiert werden, um zu einem Gesamtverständnis (Auslösebedingungen, Intensivierung) der Entwicklung von Konvektion über orographisch strukturiertem Gelände zu gelangen. Die Ergebnisse sollen zum Vergleich mit Modellrechnungen (KAMM, LM des DWD) herangezogen werden, um mögliche Defizite in der Konvektionsparametrisierung der Modelle zu erkennen und zu verbessern.
- In Kooperation mit der Universität La Serena/Chile werden die Daten des ENWARICL-Messnetzes verwendet, um den Jahresgang der Energiebilanz und Verdunstung für die Jahre 2000 bis 2002 zu bestimmen. Die Daten dienen der Verifikation von Modellrechnungen, die anschließend dazu genutzt werden, die flächendeckende Verteilung der Energiebilanz und Verdunstung zu erstellen.
- Technologische Anwendung der Feuchtemessung in Böden und Auswertung von Lysimeterdaten, um Aussagen über die Versickerung in geschichteten Böden machen zu können. Auswertung der Schneefeldmessungen (SNOWPOWER) und Erarbeitung von Korrekturverfahren über den Luftspalteinfluss zwischen Messgerät und Schnee. Darüber hinaus soll die Häufigkeit der Perkulationsstellen unterhalb der Schneedecke erfasst werden.
- Bestimmung und Analyse der Landoberflächentemperatur (LST) aus Satellitendaten für Feldexperimente (VERTIKATOR) und klimatologische Zwecke; Ableitung der Kenngrößen von Landoberflächen aus LST und weiteren Oberflächenparametern, Inbetriebnahme der MSG Empfangsstation und Anpassung der Algorithmen. Verbesserte automatische Erkennung von Wolkenstrukturen in METEOSAT und MSG (METEOSAT Second Generation)-Bildern. Erste Realisierung von „Ground Truth“ für Oberflächentemperaturen im Sichtbereich von MSG.
- Wartung und Pflege des meteorologischen Informationssystems (MIS)

b) Konvektion und Wolkenprozesse (Vorhaben 12.01.02)

- Analyse der Auslösung und Stärke von Konvektion über orografisch strukturiertem Gelände anhand von VERTIKATOR-Daten, mit dem Ziel der Verbesserung von Niederschlagsprognosen.
- Planung eines TRACKS-Experiments zur Untersuchung von Transport und chemischer Umwandlung in konvektiven Systemen in Abstimmung mit dem EU Projekt VATICAN.
- Definition eines Vorhabens zur Untersuchung der Entstehung von extremen Niederschlägen in Mittelmeerzyklonen mit eingebetteten Konvektionszellen (NEPTUN).
- Formulierung eines deutschen Beitrags für AMMA (Westafrikanischer Monsun) zur saisonalen Vorhersage des Monsuns und dessen Transport von Wasser in tropischen Konvektionszellen.
- Bestimmung der Schadstoffausbreitung und Ozonbildung unter Konvektionseinfluss über orografisch strukturiertem Gelände im Mittelmeerraum aus Daten des Projekts ESCOMPTE.
- Identifizierung von radarspezifischen und meteorologischen Parametern für die Ableitung einer situationsangepassten Beziehung zwischen Radarreflektivität und bodennahe Niederschlag.
- Beginn von Untersuchungen über die Vertikalstruktur von Wolken mit einem neuen Wolkenradar und Vergleich mit Daten des bereits vorhandenen Niederschlagsradars
- Systematische Messungen kritischer Übersättigungen für die heterogene Eisnukleation auf Wüstenstaub-Aerosolen in der AIDA-Kammer bis zu höheren Temperaturen, ggf. Einbezug biologischer Aerosole
- Weiterentwicklung des Prozessmodells zur Auswertung der Experimente zur heterogenen Eisnukleation in der AIDA-Kammer
- Erweiterung der Instrumentierung einer Fallsonde durch ein miniaturisiertes Distrometer (Erprobungsphase)
- Systematische Untersuchungen der Niederschlagszunahme aufgrund orografischer Einflüsse über Mittelgebirgen.
- Vergleich von Simulationsergebnissen des diagnostischen Niederschlagsmodells mit Simulationen des Lokalen Modells (LM) des DWD für großräumige Starkniederschlagsereignisse.
- Auswertung der im Rahmen des Projektes KONVEX im Schwarzwald festgestellten forstlichen Sturmschäden durch Orkan Lothar mit dem Ziel, besonders gefährdete Gebiete zu identifizieren.
- Entwicklung einer bundesweiten Gefährdungskarte für Gefahren durch Winterstürme als Ergänzung zu ähnlichen Risikokarten für geologische und hydrologische Gefahren.
- Definitionsphase für das europäische Verbundprojekt EURORISK, in dem Strategien zur effizienten Warnung der Bevölkerung vor Hochwasser entwickelt werden sollen.

c) Prozess- und Klimamodellierung (Vorhaben 12.01.03)

- Simulation von konvektiven Einzelwolken zur Bestimmung von vertikalen Transporten von Masse (Wasser- und Eispartikel), Energie und Impuls
- Modellierung der Entstehung und Entwicklung von Wolkenfeldern über einer Mittelgebirgslandschaft und Beurteilung anhand von Satellitenmessungen
- Integration des neuartigen Zwei-Momenten Wolken- und Niederschlagsmikrophysikmoduls in das Lokalmodell des Deutschen Wetterdienstes
- Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tropfenzerfallsmechanismus
- Vorbereitende Vergleichsstudien zur Beschaffung eines regionalen Klimamodells in Kooperation mit DKRZ Hamburg und PIK Potsdam
- Implementation des regionalen Klimamodells und Sensitivitätsstudien hinsichtlich Modellauflösung und Parametrisierungsverfahren

Beteiligte Institute und wiss.-techn. Hauptabteilungen

IMK-TRO, IMK-ASF, IMK-AAF, ITC, IPE, MAP

Zusammenarbeit mit Hochschulen und wissenschaftlichen Institutionen

national

Helmholtz-Gemeinschaft (GFZ, DLR, FZJ, AWI, GKSS); Max-Planck Institute (Hamburg, Mainz); Universitäten (IPM Freiburg, IMG Köln, IMUK Hannover, MI Bonn, IPM Stuttgart-Hohenheim, IER Stuttgart, IM München, IM Leipzig, CEDIM Karlsruhe, IFF Braunschweig, Cottbus); sowie DWD (Offenbach), IfT (Leipzig) und PIK (Potsdam), FVA Freiburg, IMG Frankfurt, Universität Heidelberg (PC; IUP)

international

Universitäten (Strassburg, New York at Albany, Wien, Christchurch, Chile?, ETH Zürich, Utrecht, Lund, Toulouse, Marseille); Paul-Scherrer-Institut (CH), Universität Szeged (HU), UMIST (Manchester), British Met Office (Farnborough)

Risø Research Center, Dänemark; Universität Bologna; RITOX (Research Institute Toxicology) Universität Utrecht; Univ. Lund (Schweden); NCAR, Boulder, Colorado; KNMI-de Bilt (Holland); Hebrew Univ. Jerusalem, NOAA Aeronomy Lab./CMDL, Boulder

Wichtige Kooperationsverträge/Forschungsförderung

Industrie

national

Fa. Enviscope, Frankfurt; Fa. ETEWE, Karlsruhe; Fa. PM-TECH, Fa. Enviscope, Frankfurt; Fa. ME-TEK, Elmshorn

international

Fa. METAIR, Schweiz; Fa. Meteolabor

Weitere Zusammenarbeiten

Öffentliche Förderung (national)

BMBF-Verbundprojekte AFO 2000; Internationales Büro des BMBF; BW-PLUS Projekte Deponiekontrollsystem und Biofilter; PTE Projekt Bergwerkverschluss;

EU-Projekte

TRACKS; ESCOMPTE, CEDIM (Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology, Univ. Karlsruhe, GFZ Potsdam); Graduiertenkolleg Naturkatastrophen, Univ. Karlsruhe; DFG-Schwerpunktprogramm „Quantitative Niederschlagsvorhersage“, ESCOMPTE, THORPEX, EU-Projekte: GEOLAND; SNOWPOWER; EURORISK, RAINCLOUDS, VATICAN, ACCENT, EURO-CHAMP

Sonstige

IM (Portugiesischer Wetterdienst , LSA-SAF); CNRM-Météo-France Toulouse

12.02 Regionale Klimaänderung und Auswirkungen

Mittelfristige Ziele

Die anthropogen verursachte Klimaänderung und ihre Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft sind eine der wichtigsten **gesellschafts- und umweltpolitischen Herausforderungen** dieses Jahrhunderts. Das Klima hat sich durch verschiedene anthropogene Aktivitäten in den letzten Jahrzehnten signifikant verändert. Jüngsten Schätzungen der International Energy Agency zufolge wird die globale Gesamt-Emission des bedeutendsten Treibhausgases CO₂ innerhalb der nächsten 25 Jahre aufgrund des Bevölkerungswachstums sowie der industriellen Entwicklung um mehr als 50% ansteigen. Daher wird sich die Klimaänderung in den kommenden Jahrzehnten weiter fortsetzen mit ernsthaften ökologischen und sozio-ökonomischen Auswirkungen. Die Anstrengungen zum Klima-Schutz dürfen sich deshalb nicht nur auf Vermeidungsstrategien konzentrieren (wie z.B. die Reduktion der CO₂-Emissionen), sondern müssen auch geeignete Anpassungs-Maßnahmen einschließen, wenn die durch die Klimaänderung hervorgerufenen nachteiligen Effekte und Risiken reduziert und/oder aber auch aus ihr resultierende potentielle Vorteile maximiert werden sollen. Daher sind Vermeidung und Anpassung unverzichtbare Komponenten einer in sich schlüssigen Konzeption zum Klimaschutz, wenn den Herausforderungen der Klimaänderung erfolgreich begegnet werden soll.

Die Entwicklung von Anpassungsstrategien setzt ein grundlegendes Verständnis von der zukünftigen Klimaänderung auf der regionalen Skala voraus, die sich aufgrund der regional unterschiedlichen Randbedingungen in vielen Gebieten der Welt von der globalen Klimaänderung deutlich unterscheiden wird. Hinzu kommt, dass einige dieser Randbedingungen, wie z.B. Typ und Verteilung der Vegetation, unmittelbar von den jeweils herrschenden regionalen klimatischen Bedingungen abhängig sind und deshalb auf zukünftige Änderungen des globalen Klimas unmittelbar reagieren werden. Dies trifft in verstärktem Ausmaß auf solche Gebiete zu, die durch Klimaänderung besonders verwundbar sind. Diese komplexen „Rückkopplungsmechanismen“ sind noch weitgehend unverstanden und deshalb in den gegenwärtigen regionalen Klimaprognosen nicht berücksichtigt. Infolgedessen sind die Ergebnisse der regionalen Klimavorhersage, insbesondere hinsichtlich der Veränderungen von Extrem-Ereignissen (z.B. im Niederschlag, Hochwässer, Stürme) mit erheblichen Unsicherheiten belastet. Diese Unsicherheiten zu reduzieren und damit den politischen Entscheidungsträgern eine belastbare Wissensbasis bereitzustellen, stellt eine bedeutende wissenschaftliche Herausforderung mit Langzeit-Perspektive dar. Dazu ist die Entwicklung von gekoppelten Modellsystemen erforderlich, die auch sozio-ökonomische Komponenten berücksichtigt.

Übergeordnetes Ziel dieses Arbeitsthemas ist es (i) derartige Modellsysteme für die Vorhersage der zukünftigen Entwicklung des regionalen Klimas unter Berücksichtigung der Rückkopplungsmechanismen des komplexen Biosphäre/Atmosphäre-Austauschs sowie weiterer Faktoren wie der Landnutzungsänderung, der zunehmenden atmosphärischen CO₂-Konzentration und der UV-Strahlung zu entwickeln und (ii) diese Instrumentarien für die Quantifizierung der Auswirkungen der regionalen Klimaänderungen sowie für die Definition und Bewertung von Anpassungsstrategien bereitzustellen bzw. in Zusammenarbeit mit politischen Entscheidungsträgern einzusetzen. Diese Aktivitäten werden im Rahmen eines integrierten und problemorientierten Ansatzes mit eng miteinander verzahnten und interdisziplinär ausgerichteten FuE-Vorhaben durchgeführt, die Schlüssel-Fragen von Relevanz und praktischem Gebrauch für gesellschaftliche und politische Entscheidungen mit Bezug zu den Auswirkungen der Änderung des regionalen Klimas auf z.B. Land- und Forstwirtschaft, Luftqualität und Wassermanagement aufgreifen. Diese Vorhaben sind:

Entwicklung gekoppelter Klima/Biosphäre/Hydrologie/Chemie-Modellsysteme

In diesem Vorhaben wird ein gekoppeltes regionales Modellsystem entwickelt, mit dessen Hilfe die Auswirkungen der globalen Klimaänderung auf das regionale Klima berechnet und die daraus resultierenden ökologischen und sozio-ökonomischen Folgen abgeschätzt werden. Anhand von Simulationsläufen werden mögliche Managementalternativen zur Vermeidung oder Abschwächung schädlicher Entwicklungen aufgezeigt und politischen Entscheidungsträgern bereitgestellt. Das Modell-System besteht aus Modellen der Bereiche Klima, Atmosphärenchemie, Hydrologie und Biosphäre und beschreibt die langfristigen Auswirkungen von Veränderungen des Klimas, der Luftchemie (einschließlich Deposition) sowie des Wasser- und Vegetationsmanagements in gegenseitiger Abhängigkeit zueinander. Die Modelle sind über definierte Schnittstellen miteinander verbunden, um je nach betrachteter

Region, Simulationsdauer, Fragestellung und verfügbarer Rechenkapazität flexibel zusammengestellt werden zu können.

Terrestrische Biosphäre im globalen Wandel

Übergeordnete Ziele dieses Vorhabens sind es, die regionalen Auswirkungen von Global Change auf die terrestrische Biosphäre zu untersuchen, die Speicherung und den Austausch von Schlüsselementen (C und N) mit angrenzenden Kompartimenten (Atmosphäre, Hydrosphäre) zu quantifizieren sowie die mit diesen Änderungen verbundenen komplexen Rückkopplungsmechanismen zwischen Biosphäre und Atmosphäre aufzuklären. Mit Hilfe von Prozess-Studien, Messkampagnen und Langzeitbeobachtungen an Dauermessstationen wird das Verständnis über das System „Biosphäre“ in einem integrierten Ansatz verbessert. Die aus den Feld- und Prozessstudien gewonnenen Datensätze werden dazu genutzt, prozessorientierte Biosphärenmodelle zu verbessern und zu validieren. Die Modellergebnisse werden eingesetzt, um (i) Emissions-/Depositions-Inventarien umweltrelevanter Spurenstoffe zu berechnen, mit denen die Verlässlichkeit globaler und regionaler Klimavorhersagen verbessert sowie ein Beitrag zum Kyoto-Prozess geleistet wird, und (ii) Entscheidungshilfen für Anpassungs- und Vermeidungsstrategien in Hinblick auf Treibhausgasbilanzen und zur nachhaltigen Nutzung der Biosphäre, insbesondere von klima- und/oder nutzungssensitiven Ökosystemen (Wälder, Grassteppen, Savannen, Feuchtgebiete), bereitzustellen.

Luftreinhaltung und Wassermanagement

Ziel des Vorhabens ist es, in einem integrierten und multidisziplinären Ansatz den Einfluss regionaler Klimaänderungen auf die Luftqualität in Megacities und Ballungsgebieten zu untersuchen und die erzielten Ergebnisse den zuständigen politischen Entscheidungsträgern bei der Ableitung und Kontrolle von Maßnahmen zur Sicherung der Luftqualität (Air Quality Management Plan) bereitzustellen. Hierzu wird zunächst die bestehende lufthygienische Situation erfasst und bewertet, um darauf aufbauend Immissionsprognosen unter Berücksichtigung demographischer und klimatischer Änderungen zu erstellen und Handlungsempfehlungen abzuleiten, deren Durchführung anschließend langfristig begleitet wird. Im Bereich des Wassermanagements werden zwei gesellschaftlich und ökonomisch relevante Forschungsschwerpunkte verfolgt, nämlich 1) die Wasserknappheit in semiariden Regionen und 2) die Hochwassergefahr im alpinen Raum. Mittels regionaler, gekoppelter Klima-Hydrologie-Simulationen wird untersucht, wie sich veränderte Niederschlagscharakteristika auf den terrestrischen Wasserhaushalt ausgewählter Einzugsgebiete auswirken. Zur Ableitung von Anpassungs- und Vermeidungsstrategien wird in Zusammenarbeit mit Partnern ein multidisziplinäres Entscheidungshilfesystem für eine nachhaltige Wasserwirtschaft in Ghana/ Burkina Faso aufgebaut sowie ein operationelles Hochwasser-Frühwarnsystem für alpine Einzugsgebiete entwickelt.

Aktueller Stand

Derzeit werden bereits umfangreiche problemorientierte FuE-Arbeiten auf dem Gebiet des Klimaschutzes in nationaler und internationaler Zusammenarbeit durchgeführt. Die Arbeiten erfolgen im Rahmen eines integrierten Forschungsansatzes, bei dem die grundlagenorientierte Forschung unmittelbar mit der Anwendung verknüpft ist. Ein besonderer Schwerpunkt der laufenden Arbeiten sind die numerischen Simulationsmodelle, die laufend verbessert und zu **gekoppelten Modellsystemen** verbunden werden, mit denen der Einfluss der globalen Klimaänderung auf das regionale Klima und die daraus resultierenden ökologischen und sozio-ökonomischen Auswirkungen quantifiziert und für die im Kyoto-Protokoll geforderte Erstellung von regionalen/nationalen Emissionskatastern von klimarelevanten Spurenstoffen genutzt werden können.

Diese Arbeiten werden durch umfangreiche Untersuchungen über die Wechselwirkungen zwischen der **terrestrischen Biosphäre** und ihren angrenzenden Subsystemen sowie die daran beteiligten biologischen, chemischen und physikalischen Prozesse ergänzt. Im Mittelpunkt stehen dabei Langzeitmessungen an ausgewählten Messstationen (z.B. Höglwald) sowie Laborstudien und Feldmesskampagnen, deren Ergebnisse zu einer wesentlichen Verbesserung des Systemverständnisses von ausgewählten Ökosystemen (z.B. Wälder, Feuchtgebiete, Grassteppen, Savannen) beitragen.

Ein weiteres wichtiges Aufgabengebiet ist die laufende **Entwicklung bzw. Verbesserung von Messverfahren**, die für die Durchführung von Laborstudien und Messkampagnen eingesetzt werden. Dabei werden zunehmend einzelne Messverfahren zu Messsystemen gekoppelt, mit denen komplexe Fragestellungen, wie z.B. die Bestimmung von Spurenstoffflüssen an der Grenzfläche zwischen Biosphäre und Atmosphäre z.B. mit der Eddy Accumulation Technique, bearbeitet werden können. Von zunehmender Bedeutung sind optische Messverfahren, mit deren Hilfe heterogen verteilte bzw. flächenhafte Emissionen aus biogenen und anthropogenen Quellen bestimmt sowie die Immissionen in urbanen Gebieten überwacht werden.

Von wachsender Bedeutung sind die laufenden Untersuchungen über den Einfluss von Landnutzungsänderungen und Klimaänderungen auf den **Wasserhaushalt** größerer Landschaften sowie die Menge und Qualität des abfließenden Wassers, auf deren Grundlage Bewertungsinstrumente zum **nachhaltigen Wassermanagement** abgeleitet werden. Die Arbeiten auf dem Gebiet der **Luftreinhaltung** konzentrieren sich z. Zt. auf Ballungsräume in Europa sowie Megacities wie Mexico City und Umgebung, für die ein "Air Quality Management Plan" erarbeitet wird. Im Rahmen des dazugehörigen und von der Weltbank koordinierten Programms werden diagnostische Studien zur Bewertung der bestehenden Schadstoffbelastung durchgeführt sowie Emissionskataster erstellt. Gleichzeitig werden Szenarienrechnungen über einen Zeitraum von bis zu 20 Jahren für die Ableitung von Maßnahmen zur Emissionsminderung durchgeführt.

Arbeitsprogramm für 2004

a) Entwicklung gekoppelter Modellsysteme (Vorhaben 12.02.01)

- Test von verfügbaren Lösungsansätzen für die regionale Modellkopplung
- Implementierung und Test eines Landoberflächenmodells, und Verwendung dieses Modells zur Übergabe der für die Klima- und Hydrologiemodelle wesentlichen Informationen aus der Biosphäre über eine provisorische Schnittstelle
- Weiterentwicklung des dynamischen Vegetationsmodells zur Beschreibung von Übergängen zwischen Wald und Grassland (Savannen); Evaluierung von Konkurrenzentwicklungen in Mischbeständen

b) Terrestrische Biosphäre im globalen Wandel (Vorhaben 12.02.02)

- Fortführung der Untersuchungen zu den in die Regulation von Produktion und Emission umweltrelevanter Spurenstoffe involvierten molekularbiologischen, biochemischen und physiologischen Prozesse unter besonderer Berücksichtigung der organismischen Interaktionen in Phyllo-, Pedo- und Rhizosphäre
- Erfassung der Auswirkungen von klimatischer Variabilität und Landnutzungsstrategien auf die ökosystemaren Umsetzungen, Pools und Flüsse klimarelevanter und reaktiver C- und N-Spurenstoffe in temperaten und tropischen Wäldern, Savannen Afrikas sowie Grassteppen Chinas im Rahmen von integrierten Messkampagnen und an Dauermessstationen
- Weiterentwicklung, Adaptation und Validierung biologischer Prozessmodelle zur Simulation des gekoppelten C- und N-Kreislaufs sowie Anwendung für die Berechnung regionaler und globaler Emissionskataster und Ableitung von Minderungsstrategien für biogene Treibhausgasemissionen.

c) Luftreinhaltung und Wassermanagement (Vorhaben 12.02.03)

- Weiterführung der MCCM-Simulationen in Mexico City und Santiago de Chile; Test des neuen Aerosolmoduls und Konzeptentwicklung für Auswaschprozesse, Kopplung von CACHE und SIM-BIM, Fortsetzung der Capacity-Building-Aktivitäten in Mexico City und Santiago de Chile, Fortsetzung der Untersuchungen der Immissionssituation in München, Budapest und Athen sowie Weiterentwicklung der Inversionsalgorithmen und der FTIR-Emissionsspektrometrie zur Verbesserung von Emissionskatastern (z.B. Flughäfen)
- Fortsetzung der dynamischen Regionalisierung von ECHAM 4 Klimaszenarien für Westafrika und Deutschland mittels MM5, Ableitung von meteorologischen Indikatoren zur Charakterisierung des Beginns der Regenzeit in Westafrika, Inverse Modellierung der Radarreflektivitäts-Niederschlags (Z/R)-Beziehung (Einzugsgebiet der Ammer), Verbesserung der Parametrisierung der Oberflächenflüsse in geneigtem Gelände.

Beteiligte Institute und wiss.-technische Hauptabteilungen

IMK, ITAS, ITC-WGT, IWR, MAP

Zusammenarbeit mit Hochschulen und wissenschaftlichen Institutionen

national

Universitäten (München, Freising, Freiburg, Cottbus, Dresden, Augsburg, Wuppertal, Tübingen, Göttingen, Würzburg, Trier, Braunschweig, Gießen, Kiel, Bonn, Darmstadt, Stuttgart);

Bayerisches Landesamt f. Umweltschutz; Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF); MPI für

Chemie, Mainz; MPI für Biogeochemie, Jena; MPI für Chemische Ökologie, Jena; BITÖK, Bayreuth; Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ); Helmholtz Gemeinschaft (FZJ, GSF, GKSS, DLR, UFZ); Deutsches Klimarechenzentrum Hamburg; Deutscher Wetterdienst; PTB Braunschweig; Deutsches Wind-Inst. Wilhelmshaven; Wasserwirtschaftsamt Weilheim, Rosenheim

international

Universitäten (Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM), Mexico City, Universidad Santa Maria, Valparaiso, (Chile), Universidad de Chile, Santiago de Chile, TU Graz, Österreich, Univ. Basel, Schweiz, University of Ghana at Legon, Univ. of New Hampshire at Durham, USA, Univ. of Manchester, United Kingdom, Univ. of Helsinki, Finland, Univ., Bangkok, Thailand, Cranfield University, United Kingdom, University of Melbourne, Australia);

Comisión Ambiental Metropolitana (CAM), Mexico City; Comision Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), Santiago de Chile; Weltbank, Washington; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Boulder, USA; Water Research Institute Ghana (WRI); Meteorological Service of Ghana; Institut de l'environnement et des recherches agricoles (INERA), Burkina Faso; JRC Ispra; ECN, Petten; International Center of Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenia; Tropical Forest Research Center (TFRC) of CSIRO, Atherton, Australia; Inst. for Atmospheric Physics, CAS, Beijing, China; Forstliche Bundesanstalt Österreich; Univ. of Edinburgh, United Kingdom; RISÖ, Denmark; TNO, Netherlands; DNMI, Norwegen; CNR, Rome; CNR, Florence; CNRS, Montpellier; IRRI, Manila, Philippinen; CARN, Nairobi, Kenia; ALTERRA, Wageningen, Niederlande; Center for Mathematical Sciences, International Center for Theoretical Physics (ICTP), Triest, Italy, Ghana; Atmospheric Science Center,

Wichtige Kooperationsverträge/Forschungsförderung

Industrie

Fa. UMS, München; Fa. Deutsche Lufthansa AG, Frankfurt; Fa. Ruhrgas AG, Dorsten; Fa. Airbus EADS; Fa. Metek, Elmshorn; Fa. GWU, Erfstadt; Fa. Lohmeyer, Karlsruhe und Dresden; Fa. Schorling & Partner, Vagen; Fa. Kisters SA, Nanterre; Fa. Shell Global Solutions

Öffentliche Förderung (national)

GLOWA; VERTICO; Zukunftsorientierte Waldwirtschaft; DFG-Verbund Tuttlingen; DFG, Forschergruppen, BayForUV; Zentrum für Umweltsimulation, Augsburg

EU-Projekte

NOFRETETE; IRMLA

Sonstige

Forstliche Versuchsanstalt des Landes Baden-Württemberg, Freiburg; Forschungsanstalt für Wald-ökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Trippstadt; Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising; Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising; UBA, Berlin; Landratsamt Rosenheim, Garmisch-Partenkirchen.

12.03 Spurenstoffe in der Troposphäre

Mittelfristige Ziele

Die Troposphäre mit ihren angrenzenden Kompartimenten ist der wichtigste Lebensraum des Menschen. Ihre chemische Zusammensetzung bestimmt das Klima, die auf der Erdoberfläche ankommende UV-Strahlung sowie den atmosphärischen Nährstoffzyklus und hat damit einen wesentlichen Einfluss auf die herrschenden Umwelt- und Lebensbedingungen. Die Konzentrationen sowie die räumlichen und zeitlichen Verteilungen der troposphärischen Spurenstoffe (Gase und Aerosole) werden durch komplexe biogeochemische Kreisläufe bestimmt, zu denen Stoffflüsse an der Grenzschicht zwischen der Atmosphäre und der Erdoberfläche, chemische und physikalische Umsetzungen in der Atmosphäre sowie vertikale und horizontale Transportvorgänge beitragen.

Die chemische Zusammensetzung der Troposphäre hat sich in den letzten Jahrzehnten aufgrund unterschiedlicher anthropogener Aktivitäten/Prozesse drastisch verändert, durch die entweder Schadstoffe in die Atmosphäre emittiert bzw. die Senkenprozesse von atmosphärischen Spurenstoffen verändert werden. Diese Entwicklung hat zu signifikanten Veränderungen der globalen und regionalen Umweltbedingungen geführt, die mit erheblichen ökologischen und sozio-ökonomischen Folgewirkungen verbunden sind. Aufgrund der Bevölkerungszunahme und der damit zusammenhängenden zunehmenden Industrialisierung, der Intensivierung der Landwirtschaft sowie des steigenden Energieverbrauchs ist von einer weiteren Zunahme der Schadstoffbelastung der Troposphäre und damit einer Verschlechterung der Lebensbedingungen auszugehen.

Es sind deshalb umfangreiche Maßnahmen zur Emissionsminderung erforderlich. Die Definition und effiziente Umsetzung derartiger Maßnahmen erfordert ein fundiertes Verständnis über das Verhalten der Troposphäre und der vielfältigen Wechselwirkungen innerhalb der Troposphäre sowie zwischen der Troposphäre und den angrenzenden Kompartimenten. Trotz intensiver Forschungsanstrengungen bestehen in diesem komplexen und extrem interdisziplinären Forschungsgebiet erhebliche Kenntnisdefizite, die in diesem Arbeitsthema im Rahmen eines ganzheitlichen Ansatzes (Prozess-Studien, Langzeitmessungen, Feldmesskampagnen, Modellierung) und in Kooperation mit externen Partnern auf internationaler Ebene abgebaut werden.

Die in diesem Arbeitsthema vorgesehenen Aktivitäten konzentrieren sich auf folgende Vorhaben:

Zeitliche Variation und Trends atmosphärischer Parameter

Mit Hilfe langfristiger Messungen an einer Nord-Süd-Kette von Mess-Stationen wird der Ist-Zustand der Troposphäre charakterisiert. Die erzielten Ergebnisse werden genutzt, um (i) zur Verbesserung des Systemverständnisses „Troposphäre“ beizutragen, (ii) zwischen den anthropogenen und natürlichen verursachten Veränderungen in der Troposphäre zu unterscheiden, (iii) mögliche neue und durch anthropogene Emissionen verursachte Umweltprobleme bereits im Frühstadium zu erkennen, (iv) die Ergebnisse aus Satellitenmessungen zu validieren und (v) die Umsetzung internationaler Abkommen (u.a. Kyoto-Protokoll, Montrealer Protokoll) zu begleiten bzw. unter Weiterentwicklung der inversen Modellierung zu überwachen. Weiterhin werden Methoden entwickelt, um aus laufenden Fouriertransformationsinfrarot (FTIR)-Satellitenmessungen die Spurenstoffverteilungen in der oberen Troposphäre abzuleiten. Parallel dazu wird die Leistungsfähigkeit von künftigen FTIR-Nadirbeobachtungsinstrumenten für die Messung troposphärischer Spurenstoffe untersucht.

Chemie und Dynamik der Troposphäre

Es werden aufwändige und umfangreiche Messkampagnen durchgeführt, in denen die vielfältigen Wechselwirkungen von groß- und kleinräumigen meteorologischen und chemischen Prozessen bestimmt bzw. quantifiziert werden. Diese luftchemischen Untersuchungen schließen Messungen in sauberen und verschmutzten Luftmassen ein. Daneben werden Feldstudien zur Überprüfung bzw. Verbesserung der Emissionsdaten von anthropogenen Schadstoffen durchgeführt. Ein weiterer Schwerpunkt sind Untersuchungen über den komplexen vertikalen Transport von bodennah emittierten Schadstoffen aus der Grenzschicht bis in die obere Troposphäre durch hochreichende Konvektion. Die erzielten Ergebnisse fließen unmittelbar in die Verbesserung von numerischen Chemie-Transport-Modellen ein, die für die Bearbeitung lufthygienischer Fragestellungen zum Einsatz kommen.

Aerosole und Klima

Im Mittelpunkt stehen Untersuchungen über den Einfluss von Aerosolprozessen auf die Chemie der Troposphäre und auf das regionale Klima. Dazu werden umfangreiche Experimente in der AIDA-Kammer über das chemische Verhalten sowie die aerosoldynamischen, optischen und hygroskopischen

schen Eigenschaften von Partikeln durchgeführt und daraus, unterstützt durch detaillierte Prozessmodelle, die atmosphärische Verweilzeit und die Klimawirksamkeit von Aerosolen abgeschätzt. Die erzielten Ergebnisse werden zur Verbesserung der Aerosolmodelle MADE und des Aerosolmodells MADEsoot verwendet, die in das Modellsystem KAMM/DRAIS integriert sind und für die Berechnung der Auswirkung sich zeitlich ändernder Emissionen von Aerosolen und Aerosolvorläufern auf die Luftqualität und das regionale Klima eingesetzt werden.

Aktueller Stand

In der Troposphärenforschung werden auf internationaler Ebene umfangreiche FuE-Arbeiten durchgeführt, zu denen das IMK maßgeblich beiträgt und in einigen Fällen sogar die Federführung innehat. Das IMK hat weltweit einmalige Datensätze über die zeitliche Veränderung von Spurenstoffen in der Atmosphäre durch langfristig angelegte Messungen an mehreren Stationen in der Nord- und Südhemisphäre erarbeitet. Das an den Messstationen laufende Messprogramm wird kontinuierlich durch die Integration neuer Messverfahren wie z.B. des LIDAR-Systems zur vertikalen Erfassung des troposphärischen Wasserdampfs auf dem Höhenobservatorium „Schneefernerhaus“, ausgebaut und durch Flugzeugmesskampagnen ergänzt. Diese Aktivitäten sind in das wissenschaftliche Messnetz NDSC (Network for Detection of Stratospheric Change) integriert und werden zur Fortschreibung der bereits vorhandenen Datensätze über Langzeittrends wichtiger troposphärischer Spurenstoffe in der Süd- und Nordhemisphäre sowie für die Bestimmung der zeitlichen Variationen und der saisonalen Veränderung der Spurenstoffkonzentrationen in der freien Troposphäre genutzt. Die daraus abgeleiteten qualitätsgesicherten Datenprodukte werden kontinuierlich in internationale Datenbanken eingegeben und darüber hinaus für die Validierung von Satellitenmessungen genutzt. Mit dem MIPAS-Satellitendatenprozessor steht ein flexibles Werkzeug zur Verfügung, mit dem Machbarkeitsstudien und Meßsystemoptimierung zur Messung troposphärischer Spurenstoffe durchgeführt werden können.

Die Arbeiten zur Bestimmung der Dynamik und Chemie der Atmosphäre sind erfolgreich weitergeführt worden. Im Rahmen dieser Aktivitäten wurde der Einfluss von Inversionswetterlagen auf die Luftverschmutzung in Ballungsgebieten untersucht sowie Studien zur Photosmogbildung in orographisch komplexem Gelände durchgeführt. Diese Arbeiten wurden durch die Überprüfung der Genauigkeit von mit Hilfe von Modellen abgeleiteten Emissionsdaten ergänzt. Ein besonderer Schwerpunkt der FuE-Arbeiten ist die Durchführung von Messprogrammen, so u.a. zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen vertikalem Austausch und Orographie (VERTIKATOR) unter der Regie des IMK. Das adjungierte DRAIS Modell zur inversen Modellierung wurde weitgehend fertig gestellt. Erste Untersuchungen zur Sensitivität der KAMM/DRAIS Modellergebnisse bezüglich der Emissionen, unter Verwendung des adjungierten DRAIS Modells wurden durchgeführt. Das in das Modellsystem KAMM/DRAIS integrierte Aerosolmodell MADE wurde um die Behandlung von Dieselruß und Pollen erweitert (MADE-soot). Es wurde ein Programmteil entwickelt, welcher die Berechnung der Extinktion durch Mischpartikel erlaubt. In diese Berechnung fließen die simulierte Größenverteilung und die simulierte chemische Zusammensetzung der Partikel ein. Somit können die Modifikation der Sichtweite und die Modifikation der Photolyseraten und der Globalstrahlung bestimmt werden.

Durch die AIDA-Aerosolkammerexperimente zur Klimawirksamkeit von luftgetragenen Dieselrußpartikeln konnte nachgewiesen werden, dass das spezifische Absorptionsvermögen von Rußpartikeln in internen Mischungen mit nicht absorbierenden Aerosolkomponenten deutlich erhöht wird. Damit konnten erstmals entsprechende Modellvorhersagen validiert werden. In weiteren Experimenten wurden für heterogene Reaktionen von reaktiven Stickoxiden an Dieselruß Reaktionswahrscheinlichkeiten bestimmt. Das COSIMA-Modell zur Beschreibung der dynamischen, chemischen und optischen Eigenschaften fraktaler Aerosolpartikel (z.B. Ruß) wurde ausgebaut und beschreibt jetzt die optischen Eigenschaften von Verbrennungsrußen im Rahmen der Rayleigh-Debye-Gans-Näherung zuverlässig.

Arbeitsprogramm für 2004

a) Zeitliche Variation und Trends (Vorhaben 12.03.01)

- Fortführung der Langzeitmessungen und Erweiterung des Messprogramms um weitere wichtige umweltrelevante atmosphärische Parameter; Bestimmung der zeitlichen und räumlichen Variationen sowie der Trends atmosphärischer Parameter; Verbesserung des Verständnisses über den Einfluss anthropogener und biogener Bildungs- und Abbauprozesse auf die chemische Zusammensetzung der Troposphäre;
- Ausbau und Betrieb der Ground-Truthing-Facility „Zugspitze“; Weiterführung der bestehenden Validierungskampagnen für ENVISAT, MOPITT, AIRS/EOS – Aqua und SAGE II / SAGE III; Weiterentwicklung von der Auswertalgorithmen für den Einsatz bodengebundener Fernerkundungsverfahren zur Bestimmung weiterer Spurengase und/oder zur

Verbesserung der vertikalen Auflösung.

- Machbarkeitsstudien und Meßsystemoptimierung für künftige Satellitenmissionen zur Erfassung troposphärischer Spurenstoffe (z.B. ESA-Projekt CAPACITY)

b) Chemie und Dynamik der Troposphäre (Vorhaben 12.03.02)

- Auswertung von Messprogrammen zur Quantifizierung des Vertikalaustauschs von Spurenstoffen in der Troposphäre sowie Analyse der Sensitivität der KAMM/DRAIS Modellergebnisse bezüglich verschiedener Modellparameter und Eingabedaten, insbesondere der Emissionen, unter Verwendung des adjungierten DRAIS Modells.
- Modellsimulationen zur Quantifizierung der Bedeutung einzelner Prozesse und Emissionen für die Photooxidantienbildung, Aufbau eines gekoppelten Chemie-Transport-Modellsystems (LM/DRAIS) aus dem Transportmodell LM des Deutschen Wetterdienstes und dem Chemiemodell DRAIS des IMK.
- Verbesserung der Auswertestrategie von MIPAS hinsichtlich des Informationsgehalts über die obere Troposphäre und Ableitung von Spurenstoffverteilungen in diesem Höhenbereich für zeitlich und räumlich begrenzte Verschmutzungs-Episoden (Projekte ASSET, ACCENT, TROPOSAT-2).

c) Aerosole und Klima (Vorhaben 12.03.03)

- Messung und theoretische Beschreibung (i) der optischen Eigenschaften komplexer Aerosolsysteme im sichtbaren und infraroten Spektralbereich, (ii) der Dynamik und der physikalisch-chemischen Eigenschaften komplexer Aerosolsysteme und (iii) des Einflusses von Spurengas-Reaktionen an Partikeloberflächen auf die Oxidationskapazität der Atmosphäre und auf die physikalisch-chemischen Partikeleigenschaften;
- Weiterentwicklung der Modellsysteme KAMM/DRAIS und LM/DRAIS und numerische Simulationen zur Modifikation des regionalen Klimas durch partikelförmige Luftbeimengungen, Szenarienrechnungen für gesundheitsrelevante Aerosolbestandteile.

Beteiligte Institute und wiss.-techn. Hauptabteilungen

IWR, HVT, IAI, IFIA, IMK, ITC

Zusammenarbeit mit Hochschulen und wissenschaftlichen Institutionen

national

Helmholtz-Gemeinschaft (GSF, DLR, FZJ, AWI, GKSS); Max-Planck Institute (Hamburg, Mainz); Universitäten (Köln, München, Leipzig, Bremen, Heidelberg, Darmstadt, Wuppertal, Jena, Karlsruhe, Stuttgart, Braunschweig, Würzburg, Bayreuth); sowie DWD, Offenbach und IfT, Leipzig

international

Universitäten (Thessaloniki, Athen, Liège, Ljubljana, Göteborg, Nagoya, Bologna, Paris, Zürich, Kiruna, Pasadena, East Anglia, Moskau, Canterbury, Leicester, Manchester, Temnco, Innsbruck, Wien); Forschungseinrichtungen: DRI, Nevada; Paul-Scherrer-Institut, Villingen; RIVM, Bilthoven; WMO-Genf; NCAR, Boulder; NPL, Teddington; Observatorio Atm. de Izana, Teneriffa; NASA Goddard Space Flight Center, Maryland; NASA Langley Research Center, Virginia; NOAA Aeronomy Lab./CMDL, Boulder; South African Weather Service (SAWS), Pretoria; JRC, Ispra; ; NILU, Oslo; PuM Curie, Paris; ESA, Paris; CNRS, Service d'Aeronomie und LPMA, Paris; ; KNMI, Niederlande; RAL, London;

Wichtige Kooperationsverträge/Forschungsförderung

Industrie

national

Fa. Aero-Laser, Garmisch-Partenkirchen; Fa. Bruker, Karlsruhe; Fa. Müßig, Murnau; Fa. Gigahertz-Optik, Puchheim; Fa. METCON, Glashütten; Fa. Opta, Bensheim; Fa. RSV, Rotenburg; Forschungszentrum der Fa. FORD, Aachen; Fa. BASF, Ludwigshafen; Fa. Enviscope, Frankfurt; Fa. Astrium,

international

Fa. METAIR, Schweiz

Öffentliche Förderung (national)

Verbundprojekte

EU-Projekte:

ATMOFAST; BayFORUV; CONTRACE; ESCOMPTE; EUROTRAC (TROPOSAT); VERTIKATOR;
AFO- 2000; FORMAT; INSPECTRO; QUEST; STACCATO; UFTIR, ASSET, CAPACITY (ESA), AC-
CENT

Sonstige

DLR-GCVOS; EU

12.04 Stratosphäre und Tropopausenregion im globalen Wandel

Mittelfristige Ziele

Das stratosphärische Ozonloch über der Antarktis hat seit den 80er Jahren stetig an Dauer und bis vor kurzem auch an Fläche zugenommen. Seit einigen Jahren werden auch über der Nordhemisphäre erhebliche Ozonverluste beobachtet. Die damit verbundene Zunahme der UV-B Strahlung erhöht das Hautkrebsrisiko beim Menschen und bildet eine Gefahr für die gesamte Biosphäre. Der Klimawandel, angetrieben durch die Zunahme der Treibhausgas-Konzentrationen und verstärkt durch den Anstieg des stratosphärischen Wasserdampfgehalts, beeinflusst den Ozonabbau und wirkt sich auch auf dynamische Prozesse wie die Stärke des polaren Wirbels aus. Daher wird befürchtet, dass sich die Erholung der Ozonschicht trotz der nach Umsetzung des Montrealer Protokolls erwarteten Abnahme der stratosphärischen Halogenbelastung erheblich verzögern könnte. Zur Abwendung möglicher volkswirtschaftlicher Schäden durch die rechtzeitige Einleitung von Gegenmaßnahmen, z.B. in der Gesundheitsvorsorge und in der Agrarpolitik, ist eine genaue Prognose über die Entwicklung der stratosphärischen Ozonschicht unerlässlich. Da aber der Stand des Wissens über Rückkopplungen zwischen Klimawandel und stratosphärischer Dynamik bzw. Chemie noch lückenhaft ist, kann eine solche Vorhersage derzeit noch nicht mit der notwendigen Genauigkeit gemacht werden. So kamen z.B. die ungewöhnlich hohen Amplituden planetarer Wellen, die im September 2002 zu einer Aufspaltung des antarktischen Polarwirbels führten, für die Wissenschaft völlig unerwartet. Die Entwicklung der Stratosphäre ist eng verknüpft mit den Vorgängen in der Tropopausenregion. Insbesondere der Troposphären-Stratosphären-Austausch spielt in diesem Zusammenhang eine bedeutende Rolle. Außerdem beeinflusst die Veränderung der Konzentration der Spurenstoffe (H_2O , O_3) in der Tropopausenregion den Treibhauseffekt.

Ein wichtiges Ziel dieses Programmthemas ist es daher, durch die Erforschung der Stratosphäre und der Tropopausenregion die notwendigen Voraussetzungen für eine genauere Prognose der Erholung der Ozonschicht im Rahmen des Globalen Wandels zu schaffen und den Einfluss der Veränderungen auf den Treibhauseffekt abschätzen zu können. Von herausragender Bedeutung ist dabei der europäische Forschungssatellit ENVISAT, der seit 2002 mit drei Instrumenten die Zusammensetzung der Atmosphäre global erfasst. Zur Instrumentierung von ENVISAT gehört das unter Beteiligung des Forschungszentrums entwickelte Michelson Interferometer für Passive Atmosphärische Sondierung, (MIPAS). Ebenfalls im Zentrum wurde ein zu den operationellen Produkten der ESA komplementäres Datenprozessierungssystem aufgebaut, das Ergebnisse mit globaler und kompletter zeitlicher Abdeckung zur Erforschung der stratosphärischen Chemie und Dynamik liefert. Daneben tragen die technisch aufwändigen MIPAS-Instrumente auf Ballongondeln und Forschungsflugzeugen seit etlichen Jahren zur Erforschung der Spurenstoffe in der Stratosphäre und zur Validierung von Satellitendaten bei, wobei zunehmend die tropische Tropopausenregion in den Mittelpunkt des Interesses rückt.

Die in diesem Arbeitsthema vorgesehenen Aktivitäten konzentrieren sich auf folgende Vorhaben:

Veränderungen in der Tropopausenregion

Der Zustand der Stratosphäre wird durch Veränderungen in der Tropopausenregion stark beeinflusst. Während Austauschprozesse an der Tropopause in den Subtropen und in mittleren Breiten vor allem durch Änderung der Zusammensetzung der unteren Stratosphäre und der oberen Troposphäre auf das Klima rückkoppeln, erfolgt der Eintrag von Wasserdampf und von Ozon abbauenden Spurenstoffen in die obere Stratosphäre durch die tropische Tropopause. Ziel ist es, durch Prozessuntersuchungen und Messungen in der Tropopausenregion dem gravierenden Mangel an Messdaten abzuwehren und durch innovative Modellierungsansätze die numerische Simulation von Massenflüssen durch die Tropopause zu verbessern. Hierzu stehen MIPAS/ENVISAT Daten zur Verfügung. Zum Einsatz kommen verschiedene Fernerkundungs- und *in-situ*-Messverfahren sowie langfristig angelegte Messungen von Spurenstoffen auf Linienflugzeugen im Rahmen des CARIBIC Projekts. Ein einzigartiges Hilfsmittel zum Studium der Zirrenbildung unter dem Einfluss anthropogener Aerosole, u.a. aus dem Luftverkehr, sind Experimente in der kühlbaren Aerosolkammer AIDA, die auch zur Simulation der Mikrophysik von Dehydratationsprozessen in der tropischen Tropopausenregion eingesetzt wird.

Dynamik und Chemie der Stratosphäre

Das Studium der physikalischen und chemischen Prozesse in der Stratosphäre konzentriert sich auf die globale Skala und die Meso-Skala. Dies beinhaltet die Untersuchung der Struktur des Polarwirbels

und des Austausches der Luftmassen mit solchen aus niederen Breiten. Als Ziel der Arbeiten steht dabei die Verbesserung der Prognose von Veränderungen der Konzentrationen von Ozon und anderen Spurenstoffen im Vordergrund. Für die Interpretation der gemessenen Parameterverteilungen wird das numerische Modell KASIMA eingesetzt. Die Datensätze ergeben sich meist aus Messungen der Michelson Interferometer für passive atmosphärische Sondierung (MIPAS) des IMK, welche auf Ballonen, Flugzeugen und seit 2002 auf ENVISAT betrieben werden, sowie aus bodengebundener Infrarot- und Millimeterwellenspektrometrie. Die Erkenntnisse aus dem Vergleich der Messdaten mit den Ergebnissen der numerischen Simulationen werden in die Modelle für die Vorhersage der stratosphärischen Ozonschicht übernommen. Rückkopplungen auf das Klima und Auswirkungen auf die UV-Strahlung werden ebenfalls in prognostischen Modellen untersucht. Außerdem wird an der Vorbereitung und Konzeptionierung zukünftiger Satellitenmissionen im Rahmen der „Earth Observation“ und „Earth Watch“ Programme der ESA mitgearbeitet, welche künftig wesentlich zur globalen Erfassung der Stratosphäre beitragen werden.

Polare stratosphärische Wolken und Denitrifizierung

Die wissenschaftlichen Arbeiten in diesem Vorhaben zielen auf Fragen zum gekoppelten Einfluss von Spurengasen, Aerosolen und polaren stratosphärischen Wolken auf die Ozonerstörung in der Stratosphäre ab. Dadurch soll ein Beitrag zur Verbesserung der Prognosefähigkeit für die Entwicklung der Ozonschicht geleistet werden. Im Mittelpunkt des Interesses stehen Schlüsselprozesse wie die Denitrifizierung und die Dehydratation, die empfindlich auf zukünftige Klimaänderungen reagieren. Sie werden in Feld- und Laborexperimenten untersucht sowie durch Modellsimulationen nachvollzogen. Dabei wird ein weites Spektrum von Methoden eingesetzt: Labormessungen in der AIDA-Kammer, Prozessstudien mit MIPAS-Ballon- und Flugzeugexperimenten, großräumige Untersuchungen von Spurengasen und PSCs mit MIPAS/ENVISAT, sowie Modellierungen mit dem numerischen Modell KASIMA, das besonders im Hinblick auf PSC-Prozesse unter Nicht-Gleichgewichtsbedingungen weiter entwickelt werden soll.

Mittel- und langfristige Veränderungen

Für die Untersuchung anthropogener und natürlicher Veränderungen in der Stratosphäre werden langfristige Messungen von Spurengasen und Aerosolen benötigt. Mit bodengebundenen Fernerkundungsverfahren werden Zeitreihen der Konzentration verschiedener Spurenstoffe in polaren, mittleren, subtropischen und tropischen Breiten im Rahmen des NDSC (Network for the Detection of Stratospheric Change) gewonnen. Aus diesen Daten ergibt sich die breitenabhängige Variabilität der Spurenstoffe und aus den Zeitreihen über Jahrzehnte lassen sich die Trends der Spurenstoffe ableiten. Die Zeitreihen werden für Vergleiche mit Simulationen numerischer Modelle genutzt, um eine bessere Parametrisierung von atmosphärischen Prozessen zu erzielen. Die Trends der Spurenstoffe sind eine wichtige Datenbasis für den Test von numerischen Modellen, mit denen die Entwicklung der Ozonschicht in den kommenden Jahrzehnten vorhergesagt werden kann.

Aktueller Stand

In den von 1997 bis 2002 regelmäßig stattgefundenen CARIBIC Messflügen wurde ein Datensatz geschaffen, der u.a. die Bestimmung der Saisonalität von etwa 60 Spurengasen und einiger Aerosolparameter in 10 – 11 km Höhe entlang von drei Flugstrecken (Ind. Ozean, Südafrika, Karibik) erlaubt. Basierend auf diesen Messungen wurde die in-situ Bestimmung einer örtlich hochaufgelösten chemischen Tropopause vorgeschlagen und der Ozonfluss über die extratropische Tropopause im Vergleich zur Ozonproduktion in der Troposphäre abgeschätzt.

Vergleiche von MIPAS-B (Ballon)-Messungen mit Simulationen von Chemie-Transport-Modellen weisen auf Defizite in der Modellierung der Stickstoffkomponenten hin. In polaren Wintern konnten Ereignisse des Entzugs von HNO_3 aus der Gasphase und von dessen Aufnahme in PSCs als auch in wenigen Fällen Denitrifizierung nachgewiesen werden.

Der am IMK entwickelte Auswerteprozessor für MIPAS/ENVISAT Messungen ist einsatzbereit für die Erzeugung umfangreicherer Datensätze der Verteilung von Spurengasen und anderer atmosphärischer Parameter. Bisher wurden erste Datensätze atmosphärischer Spurenstoffverteilungen, insbesondere zum ungewöhnlichen Ereignis eines „major warming“ auf der Südhemisphäre im September 2002, erzeugt und hinsichtlich chemischer und dynamischer Prozesse untersucht. Während dieses Ereignisses wurden Mischungsvorgänge von Luftmassen innerhalb und außerhalb des Polarwirbels, eine rasche Umwandlung aktiver Chlorspezies in Reservoirverbindungen, sowie eine anhaltende Denitrifizierung während der ersten Tage der Wirbelaufspaltung aus MIPAS/ENVISAT Daten abgeleitet.

Langfristige Messungen der Konzentration verschiedener stratosphärischer Spurenstoffe werden bereits seit geraumer Zeit durchgeführt. An Bodenstationen werden hochauflösende Fourierspektrometer im Rahmen des NDSC (Network for the Detection of Stratospheric Change), Millimeterwellenradiometer und Lidarsysteme weitgehend kontinuierlich eingesetzt. Aus diesen Messreihen konnten Trends der Konzentration des Aerosols sowie der Spurengase HCl und ClONO₂ abgeleitet werden.

Am IMK steht das numerische Modell KASIMA zur Untersuchung physikalischer und chemischer Prozesse in der mittleren Atmosphäre zur Verfügung. Vielfältige Vergleiche mit den oben beschriebenen Messungen haben bereits zu einer Reihe von Erkenntnissen über stratosphärische Vorgänge geführt. Ein kürzlich implementierter Datenassimilationsmodul erlaubt künftig die Integration von Satellitendaten (insbesondere MIPAS-Daten).

In der AIDA Versuchsanlage wurde ein erster Datensatz zur kritischen Eisübersättigung erzeugt, bei der unter den Bedingungen der Tropopausenregion Eiskristalle entstehen. Untersucht wurde die homogene Nukleation in Schwefelsäureaerosol sowie die heterogene Nukleation auf Ruß- und Mineralstaubpartikeln. Die Auswertung wurde durch ein Modell zur Beschreibung der Dynamik der Eisübersättigungs-Erzeugung in der Kammer sowie der Nukleation und des Partikelwachstums unterstützt. Bei der Simulation von polaren stratosphärischen Wolken in der AIDA Versuchsanlage wurde erstmals die homogene Nukleation von Salpetersäure-Dihydrat (NAD) aus unterkühlten wässrigen Salpetersäure-Aerosolpartikeln nachgewiesen. Bisher gibt es aber keine Hinweise auf die Bildung von Salpetersäuretrihydrat (NAT); dafür gibt es erste Hinweise auf die Bildung von Salpetersäurehydraten durch heterogene Nukleation an Rußaerosolpartikeln.

Arbeitsprogramm für 2004

a) Veränderungen in der Tropopausenregion (Vorhaben 12.04.01)

- AIDA-Simulationsexperimente zur Vervollständigung des Datensatzes zur heterogenen Eisnukleation unter Bedingungen der Tropopausenregion unter Verwendung von Mineralstäben verschiedener geographischer Herkunft und Beschichtung. Modellierung der Mikrophysik unter Berücksichtigung von Temperatur- und Feuchte-Inhomogenitäten in der AIDA-Kammer;
- Verbesserung der Beobachtungsbasis in der Tropopausenregion für Spurengase, Aerosole, Zirren und Kondensstreifen, durch MIPAS-B und Lidar H₂O-Messungen sowie Ableitung erster Datensätze der Temperatur- und Wasserdampf-Verteilung in der tropischen Tropopausenregion aus MIPAS/ENVISAT Daten; Nutzung der Satellitendaten für die Entwicklung von Datenassimilations-Modulen im Rahmen verschiedener Kooperationen;
- Durchführung von monatlich 1 bis 2 CARIBIC Messflügen unter Einsatz von drei neu aufgebauten Messgeräten; weitere Auswertung der CARIBIC Phase I Daten und der neuen Messdaten.
- Analyse der Tropopausenregion mit KASIMA anhand von Reanalysen des EZMW.

b) Dynamik und Chemie der Stratosphäre (Vorhaben 12.04.02)

- Vertiefte Interpretation vorhandener und neuer MIPAS-B- und MIPAS-STR-Messungen im Rahmen von Prozessstudien unter Zuhilfenahme von Modell-Simulationen;
- MIPAS/ENVISAT-Daten werden eingesetzt zur Untersuchung der Ursachen für die Unterschätzung des Ozonverlusts im arktischen Polarwinter in Modellrechnungen, des Beitrags von ozonarmen Polarwirbelresten in mittleren Breiten auf das dortige Ozon-Budget, und des Transports von Spurenstoffen durch die tropische Tropopause;
- Anwendung des Datenassimilationsverfahrens von KASIMA; Studien zum Transport langlebiger Tracer in der unteren Stratosphäre und des Einflusses der solaren Variabilität auf den Zustand der Stratosphäre.

c) Polare stratosphärische Wolken und Denitrifizierung (Vorhaben 12.04.03)

- Erweiterung des Datensatzes aus AIDA-Experimenten zur Nukleation fester Salpetersäurehydrate unter Zuhilfenahme der FTIR-Spektroskopie für die Bestimmung der Phase und der Partikelzusammensetzung; modellgestützte Auswertung mit dem Ziel der Parametrisierung der Nukleationsrate als Funktion der Übersättigung und der Temperatur.
- Auswertung der in den polaren Wintern 2002/03 und 2003/04 erfassten bzw. zu messenden MIPAS-Ballon-Daten hinsichtlich von Eigenschaften der PSCs sowie des reversiblen und irreversiblen Entzugs von HNO₃ aus der Gasphase;
- Evaluierung des Sedimentationsschemas in KASIMA anhand von MIPAS-Ballon- und

- MIPAS/ENVISAT-Daten und dessen Implementierung in ECHAM 5;
- Weiterentwicklung des Ableitungsschemas für mikrophysikalische und chemische Eigenschaften von PSC-Partikeln aus MIPAS/ENVISAT-Daten und Anwendung auf PSC-Episoden im polaren Bereich.

d) Mittel- und langfristige Veränderungen (Vorhaben 12.04.04)

- Weiterführung der regelmäßigen Spurengas-Messungen an den NDSC-Stationen auf der Zugspitze, in Kiruna/Nordschweden und in Izaña/Teneriffa; Weiterführung der Aerosol-Messreihe mit dem Lidarsystem an der Station Garmisch; Einsatz des Millimeterwellenradiometers MIRA2 am Standort Merida/Venezuela als Teil der künftigen tropischen NDSC-Station;
- Untersuchung der zeitlichen Entwicklung von stratosphärischen Spurengaskonzentrationen in polaren, mittleren, subtropischen und tropischen Breiten, insbesondere bzgl. ozonrelevanter Konstituenten;
- Validierung von Satellitendaten, vor allem von MIPAS und SCIAMACHY auf ENVISAT .

Beteiligte Institute und wiss.-techn. Hauptabteilungen

IMK, IAI, IFIA, IPE, IWR;

Zusammenarbeit mit Hochschulen und wissenschaftlichen Institutionen

national

Hochfrequenztechnik der TU Hamburg-Harburg; Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven und Potsdam; Deutscher Wetterdienst; Geoforschungszentrum Potsdam; Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin; Institut für Umweltphysik und Institut für Fernerkundung, Universität Bremen; Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Frankfurt; Institut für Küstenforschung des GKSS Forschungszentrums, Geesthacht; Institut für Umweltphysik und Physikalisch-Chemisches Institut der Universität Heidelberg; Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre (ICG-I + ICG-II), Forschungszentrum Jülich; Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik der Universität Karlsruhe; Institut für Troposphärenforschung, Leipzig; Institut für Bioklimatologie und Immissionsforschung und Institut für Physikalische und Theoretische Chemie der TU München; Institut für Methoden der Fernerkundung, Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, DLR, Oberpfaffenhofen; Institut für Verbrennungstechnik des DLR, Stuttgart; Max-Planck-Institut Heidelberg, Abteilung Atmosphärenphysik; Max-Planck-Institut für Aeronomie, Katlenburg; Max-Planck Institute für Chemie und Meteorologie in Mainz bzw. Hamburg; Physikalisches Institut der Universität Bonn; Physikalisches Institut der Universität Köln;

international

Belgian Institute for Space Aeronomie (BIRA-IASB), Brüssel; Chalmers University, Göteborg; Danish Meteorological Institute (DMI) Kopenhagen; Dipartimento di Fisica, Università de L'Aquila; ECMWF, Reading, UK; ESRIN/ESA, Frascati, Italy; ESTEC/ESA, Noordwijk, Niederlande; ETH Zürich; IFAC, (Florenz); Institute of Atmospheric and Oceanic Sciences (ISAO-C-N.R.) Bologna; Institute of Marine and Atmospheric Research, Utrecht; Instituto de Astrofísica de Andalucía, Granada; Instituto Nacional de Technico Aeroespacial, Madrid (Spanien); Instituto di Fisica dell'Atmosfera, Rom; IRF Kiruna (Schweden), JPL Pasadena, USA; KNMI, De Bilt, Niederlande; Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS, Palaiseau; Nat. Inst. Environm. Studies (NIES) (Japan); National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder (USA); National Phys. Lab., Teddington (Großbritannien); NILU, Oslo; Norwegian Institute of Air Research, Oslo; Observatorio Atmosférico de Izaña, INM, Teneriffa (Spanien); RAL (Didcot) und School of the Environment, University of Leeds; Service D'Aeronomie; Université Pierre et Marie Curie, Paris; Technische Universiteit Eindhoven, Niederlande; UK Met Office, Bracknell; Universität Bern; Schweiz; University of Cambridge; UK; Universität East Anglia (Großbritannien); University of Wyoming, Laramie; University of Leicester, UK; Universität Lüttich, Universität Lund (Schweden); Universität Merida, Venezuela; Universität Nagoya, Japan; University of Oxford; Universität Sao Paulo, Brasilien; Universität Szeged, Ungarn; Universität Tokio, Japan; University of Waterloo, Canada;

Wichtige Kooperationsverträge/Forschungsförderung

Industrie

national

BRUKER Optik GmbH, Ettlingen; SEG, Riegel; Lufthansa AG, Frankfurt; Radiometer Physics GmbH, Meckenheim; ALCATEL; Astrium,

international

SERCO.

Öffentliche Förderung (national)

HGF-Forschungsschwerpunkt Erde und Umwelt, Programm ATMO; HGF-Strategiefonds-Projekt PAZI; Projekte des BMBF-Atmosphärenforschungsprogramms POSTA, KODYACS, SACADA, COMMIT, CARIBIC, ATMOfAST, CONTRACE

DLR-Projekt ‚Validierung von SCIAMACHY Produkten‘

Virtuelle Institute Datenassimilation (IDA), Eiswolken in der Tropopause, PEP (Pole Equator-Pole);

EU-Projekte

TOPOZ III (Koordinator), GMES-GATO, VINTERSOL, CARIBIC III, ASSET, UFTIR; SCOUT;

Sonstige

ESA Projekte: INFLIC, ORM; UT/LS Studie, ACOR, CAPACITY, QWG; TROPOSAT, NDSC (Network for the Detection of Stratospheric Change).

METSAT-AIRS-; ESA-ENVISAT-AO; NASA (MOPITT-, SAGE-Validierung)