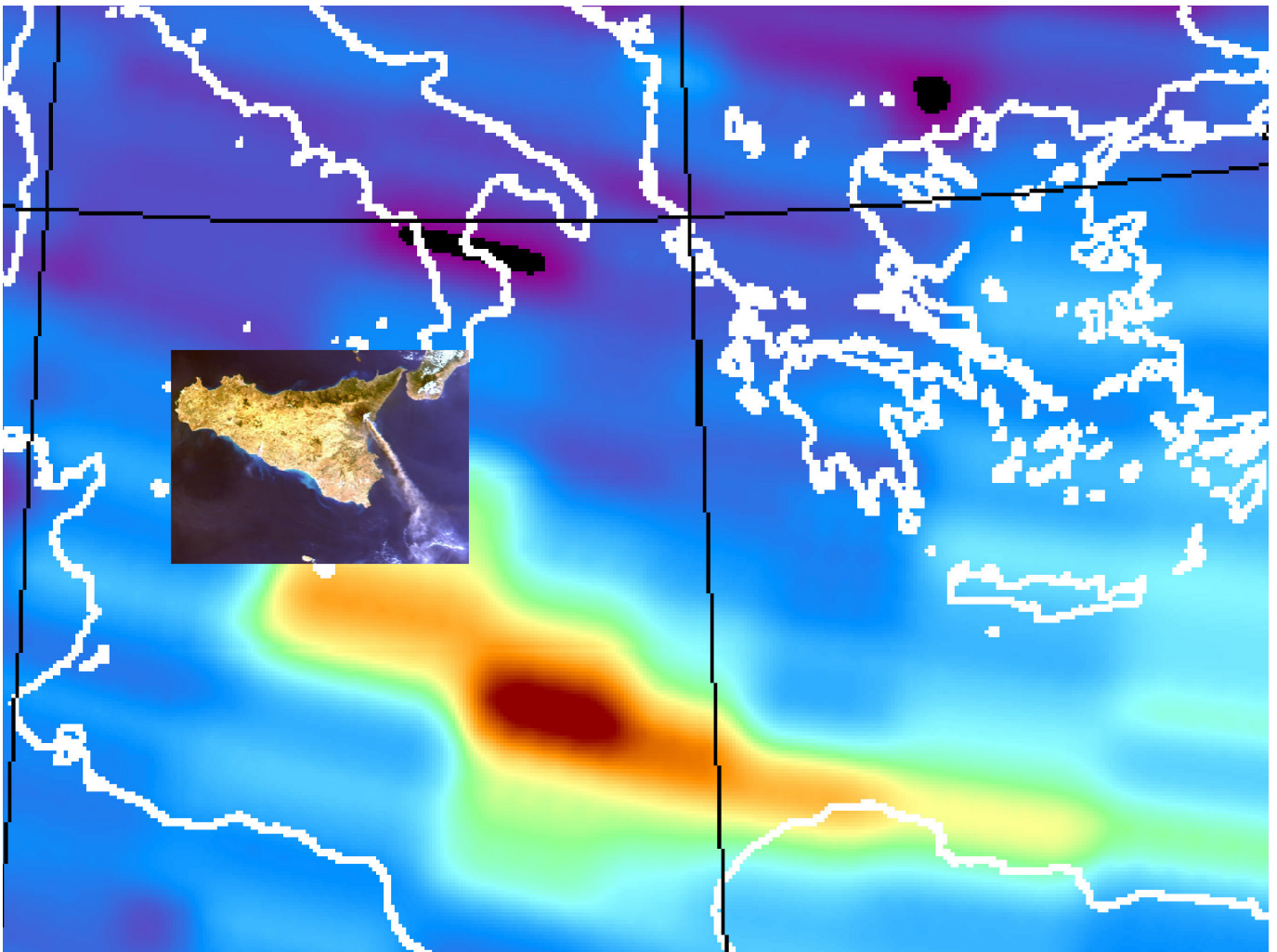


**Institut für Methodik der Fernerkundung**



**Organisationseinheit  
Atmosphärenprozessoren**

**Jahresbericht 2001**

## Impressum

Herausgeber: Organisationseinheit Atmosphärenprozessoren des Instituts für Methodik der Fernerkundung

Inhaltliche Verantwortung: Dr. Tom Rother

Redaktion und Layout: Dr. Tom Rother, Dr. Manfred Gottwald und Brigitte Rüba

Oberpfaffenhofen, Januar 2002

## Inhaltsverzeichnis

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| <b>1.</b> | <b>Vorwort</b> .....   | 4  |
| <b>2.</b> | <b>Aufgaben und Arbeitsweise der Organisationseinheit AP</b> .....   | 5  |
| <b>3.</b> | <b>Höhepunkte des Jahres 2001</b> .....  | 8  |
| 3.1       | Satellitengestützte Fernerkundung vulkanischer Aktivität .....   | 8  |
| 3.2       | GOME Near-Realtime Service .....   | 11 |
| 3.3       | Entwicklung von Methoden zur Bestimmung der Streueigenschaften nichtsphärischer und inhomogener Aerosole ..... | 15 |
| <b>4.</b> | <b>Laufende Projekte und Vorhaben</b> .....  | 18 |
| 4.1       | Gome Produkt-Erzeugung.....  | 18 |
| 4.2       | Erweiterung des GOME-Datenprozessors .....   | 19 |
| 4.3       | SCIAMACHY NRT-Prozessor und Expert Support Lab .....   | 20 |
| 4.4       | SCIAMACHY Offline-Prozessor .....  | 21 |
| 4.5       | SCIAMACHY-Betriebsunterstützung - SOST .....   | 23 |
| 4.6       | Ozon Satellite Application Facility - SAF .....  | 24 |
| 4.7       | MIPAS Level-2 Offline-Prozessor.....   | 26 |
| 4.8       | MIPAS im ENVISAT-HGF-Vorhaben.....   | 28 |
| 4.9       | AMIL2DA - Advanced MIPAS Level 2 Data Analysis .....   | 29 |
| 4.10      | Algorithmenentwicklung für FOCUS-Datenfusion .....   | 31 |
| 4.11      | Strahlungstransfer mit anisotrop reflektierendem Untergrund.....   | 33 |
| 4.12      | Virtuelles Streu- und Strahlungstransferlabor.....   | 34 |
| 4.13      | CLOUDMAP-2 - Cloud Mapping Project .....   | 36 |
| 4.14      | Einfluß der Orientierung von Eiskristallen auf das Strahlungsfeld von Cirren .....                             | 37 |
| 4.15      | UPAS - Unified Processor for Atmospheric Spectrometers .....   | 39 |
| <b>5.</b> | <b>Veröffentlichungen, Vorträge und Tagungen</b> .....   | 40 |
| 5.1       | Zeitschriftenartikel .....   | 40 |
| 5.2       | Proceedingsbeiträge .....  | 40 |
| 5.3       | Dokumente .....  | 41 |
| 5.4       | Vorträge und Pressemitteilungen .....  | 42 |
| 5.5       | Besuchte Tagungen .....  | 42 |
| 5.6       | Organisierte Veranstaltungen.....  | 43 |
| 5.7       | Diplom- und Doktorarbeiten.....  | 43 |
| <b>6.</b> | <b>Abkürzungen und Akronyme</b> .....  | 44 |

## 1. Vorwort

Der vorliegende Bericht beschreibt die Tätigkeiten innerhalb der Organisationseinheit „Atmosphärenprozessoren“ des Instituts für Methodik der Fernerkundung (IMF-AP) im Jahr 2001. Es ist das erstmal, dass ein derartiger Jahresbericht erstellt wurde. Wir haben es als wünschenswert und erforderlich gehalten, diese Rückschau auf unsere Arbeiten zu verfassen, um sowohl externen als auch internen Freunden und Kooperationspartnern von IMF-AP einen Überblick über die vielfältigen Aufgaben der Organisationseinheit zu bieten.

Das Jahr 2001 war insbesondere gekennzeichnet durch den sich nähernden Starttermin von ENVISAT, dem Erdbeobachtungsprojekt der ESA, das in den nächsten Jahren die interessantesten Herausforderungen an uns stellt und ab dem Jahr 2002 die wissenschaftliche Nutzergemeinde mit einer Vielzahl hochgenauer Messdaten versorgen wird. Darüber hinaus standen Arbeiten im Vordergrund, deren Ziel es ist, das Ausbreitungsverhalten elektromagnetischer Strahlung in der Atmosphäre möglichst wirklichkeitsnah zu beschreiben. Das erzwingt u.a. der Stand der Instrumententwicklung, der in den letzten Jahren ein Niveau erreicht hat, das die Ableitung hochgenauer Resultate über den Zustand der Atmosphäre aus den Messungen satellitengetragener Atmosphärenspektrometer gestattet. Diese Ergebnisse tragen zu einem immer besseren Verständnis des *Systems Erde* bei – einem Verständnis, das notwendig ist, um die erforderlichen Vorkehrungen für einen nachhaltigen Umgang mit unserer Umwelt zu treffen.

Dr. Tom Rother

Dr. Manfred Gottwald

## 2. Aufgaben und Arbeitsweise der Organisationseinheit AP

T. Rother, M. Gottwald

Im Jahr 2000 hatte am DLR-Standort Oberpfaffenhofen eine tiefgreifende Umstrukturierung der Fernerkundungsaktivitäten stattgefunden, in deren Verlauf das Cluster „Angewandte Fernerkundung - CAF“, bestehend aus den beiden Instituten „Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum - DFD“ und „Institut für Methodik der Fernerkundung - IMF“, gegründet worden war. Letzteres umfasst vier Organisationseinheiten, darunter die Organisationseinheit „Atmosphärenprozessoren - AP“.

Die Themen **Global Change** und **Convention Monitoring** sind zwei Forschungsschwerpunkte, denen sich das Cluster „Angewandte Fernerkundung“ abteilungsübergreifend widmet. Sie sind für den Erhalt der natürlichen Ressourcen und Lebensbedingungen auf der Erde für zukünftige Generationen von zentraler Bedeutung. Der globale Charakter dieser Aufgabenstellungen erfordert sowohl eine internationale Zusammenarbeit unterschiedlichster Institutionen als auch global operierende Instrumentarien, wie sie z.B. die Raumfahrt mit ihren satellitengestützten Sensoren zur Verfügung stellt.

Die gegenwärtige Situation speziell in der Atmosphärenfernerkundung ist jedoch immer noch durch einen zu wenig koordinierten Einsatz der Ressourcen und einer ungenügend abgestimmten Missionsauswahl gekennzeichnet. Außerdem unterscheiden sich die für die operationelle Auswertung verwendeten Algorithmen mitunter beträchtlich voneinander, was die Vergleichbarkeit der verschiedenen Instrumente und Missionen erschwert. Die operationelle Ableitung globaler und homogener Datensätze von Atmosphärenparametern aus bisherigen und zukünftigen Missionen ist deshalb eine der großen Herausforderungen der Atmosphärenfernerkundung.

Ausgehend von dieser Einschätzung leistet die Organisationseinheit „Atmosphärenprozessoren“ Beiträge zu den Schwerpunkten

- Ableitung meteorologischer und klimarelevanter Atmosphärenparameter (Spurengase, Aerosole, Wolkenparameter, Druck, Temperatur) aus den Daten satellitengestützter Spektrometer
- Analyse und Klassifizierung von Hochtemperaturreignissen (Brände, Vulkane), welche klimarelevante Emissionsquellen von Spurengasen und Aerosolen darstellen

Im Rahmen dieser Schwerpunkte ist es das Ziel der Organisationseinheit, ihre Stellung als eines der wichtigen Zentren in Europa für die Entwicklung operationeller Prozessoren zur Auswertung von Messdaten satellitengestützter Atmosphärenspektrometer zu festigen und auszubauen sowie die dafür notwendige wissenschaftliche- und Systemkompetenz bereitzustellen. Dazu betätigt sie sich auf folgenden Forschungsgebieten:

- Entwicklung der für den operationellen Betrieb notwendigen Prozessorkomponenten und deren Integration zu Gesamtsystemen. Diese Arbeiten werden bis zu der Ebene durchgeführt, auf der die Entwicklung nutzerspezifischer und vom Sensor unabhängiger Atmosphärenprodukte beginnen kann.
- Zur Sicherung der Qualität und Akzeptanz der Arbeiten auf allen Produktebenen und zum Erhalt der Sprechfähigkeit bzgl. des wissenschaftlichen Hintergrundes der wesentlichen Prozesselemente werden wissenschaftliche Arbeiten in den Kernbereichen *Streuung, Strahlungstransfer, Retrieval, Kalibration, Instrumentensimulation* und *informationstechnische Grundlagen operationeller Prozessoren* für Sensoren im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Spektralbereich durchgeführt.
- Es werden Modellrechnungen und Studien für zukünftige Instrumente und Missionen im Rahmen der oben genannten Kernbereiche durchgeführt und alternative Auswerteverfahren sowie optimale Betriebsstrategien für bestehende und zukünftige Sensoren entwickelt.
- Es wird die Vorbereitung und Durchführung des operationellen Instrumentenbetriebes sowie die Einbindung der Atmosphärenprozessoren in das Bodensegment aus informationstechnischer und wissenschaftlicher Sicht unterstützt.

In diesem Zusammenhang sind die ENVISAT- bzw. die zukünftigen METOP-Missionen von ESA bzw. EUMETSAT für die Organisationseinheit „Atmosphärenprozessoren“ von besonderer Bedeutung. Zusammen mit dem GOME-Experiment auf ERS-2 besteht die Möglichkeit, über einen Zeitraum von 25 Jahren klimarelevante Parameter abzuleiten.

Im Folgenden soll die Bedeutung der oben genannten Kerngebiete für die Atmosphärenfernerkundung kurz erläutert werden, da in den nachfolgenden Berichten des öfteren darauf Bezug genommen wird.

Streuung: Die Modellierung der Streuung elektromagnetischer Wellen an dielektrischen Partikeln in der Atmosphäre ist für die Aerosol- und Wolkenfernerkundung von großer Bedeutung. Atmosphärische Streuprozesse sind im engen Zusammenhang mit der Strahlungstransfergleichung zu sehen, denn sie bestimmen die Phasenmatrix im Mehrfachstreuerm dieser Gleichung und die Streualbedo. Da die Bedeutung nichtsphärischer Streuprozesse für die Fernerkundung in den letzten Jahren zunehmend erkannt wurde, andererseits aber nur wenige praktikable Verfahren zur Verfügung stehen, welche diese Prozesse über große Wellenlängenbereiche hinweg und für verschiedene Geometrien beschreiben können, liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Entwicklung dafür geeigneter Verfahren.

Strahlungstransfer: Der Strahlungstransfer, d.h. die Modellierung der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im System Erdoberfläche/Atmosphäre, ist für die Fernerkundung von zentraler Bedeutung, da er die Bestimmung der physikalischen Parameter aus dem am Sensor gemessenen Signal gestattet. Demzufolge bildet der Strahlungstransfer auch das zentrale Element bei der Prozessierung der Sensordaten von Level 1 (kalibrierte Spektren) zu Level 2 (Atmosphärenparameter, wie z.B. Konzentration von Spurengasen, aerosoloptische Dicke etc.). Die Güte und Akzeptanz der gewonnenen physikalischen Information hängt eng mit der Güte der Lösung der Strahlungstransfergleichung und der Qualität der dafür notwendigen Zusatzinformationen ab.

Retrieval: Das sogenannte „Retrieval“ löst die eigentliche Aufgabenstellung der Atmosphärenfernerkundung: die Ableitung der geophysikalischen Information über den Zustand der Atmosphäre aus dem am Sensor gemessenen Spektrum (Level 2-Prozessierung). Die Auswahl, Entwicklung und Implementierung geeigneter Retrievalverfahren erfordert neben einem fundierten Wissen über Atmosphärenphysik und der Molekül- und Aerosolspektroskopie auch vertiefte Kenntnisse der mathematischen Zusammenhänge und numerischen Verfahren, der instrumentellen Besonderheiten sowie ein großes Maß an praktischer Erfahrung.

Kalibrierung, Instrumentensimulation: Die Kalibrierung der Messgeräte, zusammen mit einer Abschätzung der realen Messfehler, bildet die Voraussetzung des Retrievals. Man unterscheidet die Bodenklibrierung, d.h. die Charakterisierung des Instruments vor dem Start im Labor, und die in-flight Kalibrierung als wesentliches Element der Level 1-Prozessierung. Ein bedeutender Teil der in-flight Kalibrierung besteht in der Bestimmung der Veränderung der optischen Eigenschaften des Instruments im Orbit (Degradation), hervorgerufen z.B. durch Alterungsprozesse der Bauteile selbst oder der einwirkenden harten Strahlung. Eng verbunden mit der Kalibrierung ist die Instrumentensimulation. Diese versucht, auf Komponentenebene das Instrument zu modellieren und damit seine Eigenschaften, inklusive dem Degradationsverhalten zu verstehen. Damit ergibt sich die Möglichkeit, simulierte Messdaten zur Verfügung zu stellen, bevor das Instrument kalibriert bzw. gestartet ist, um die gesamte Prozessierungskette von Level 1 bis Level 2 zu testen und zu optimieren.

Informationstechnische Grundlagen der Prozessorentwicklung: Die Beschäftigung mit den informationstechnischen Grundlagen der Prozessorentwicklung dient dem Ziel, die wissenschaftlichen Algorithmen zur Auswertung der Daten satellitengestützter Atmosphärenspektrometer in informationstechnisch optimierte Systeme umzusetzen, die den Bedingungen der Operationalität und/oder Nahe-Echtzeit-Fähigkeit genügen. Darüber hinaus werden geeignete Handwerkzeuge für die Qualitätssicherung auf allen Ebenen der Prozessierung sowie für die Durchführung von Tests und Simulationen benötigt. Die informationstechnischen Grundlagen bilden somit die technologische Klammer für alle Aktivitäten der Organisationseinheit.

Die Organisationseinheit „Atmosphärenprozessoren“ unterteilt sich, entsprechend der oben genannten Aufgabenstellung, in drei Arbeitsgruppen. Es sind diese die Gruppe „Mathematische und Physikalische Grundlagen“, „Sensorspezifische Verfahren“ und „Informationstechnische Grundlagen“. Die Arbeitsgruppe „Mathematische und Physikalische Grundlagen“ erstreckt sich dabei, historisch bedingt, über die drei DLR-Standorte Oberpfaffenhofen, Berlin-Adlershof und Neustrelitz.

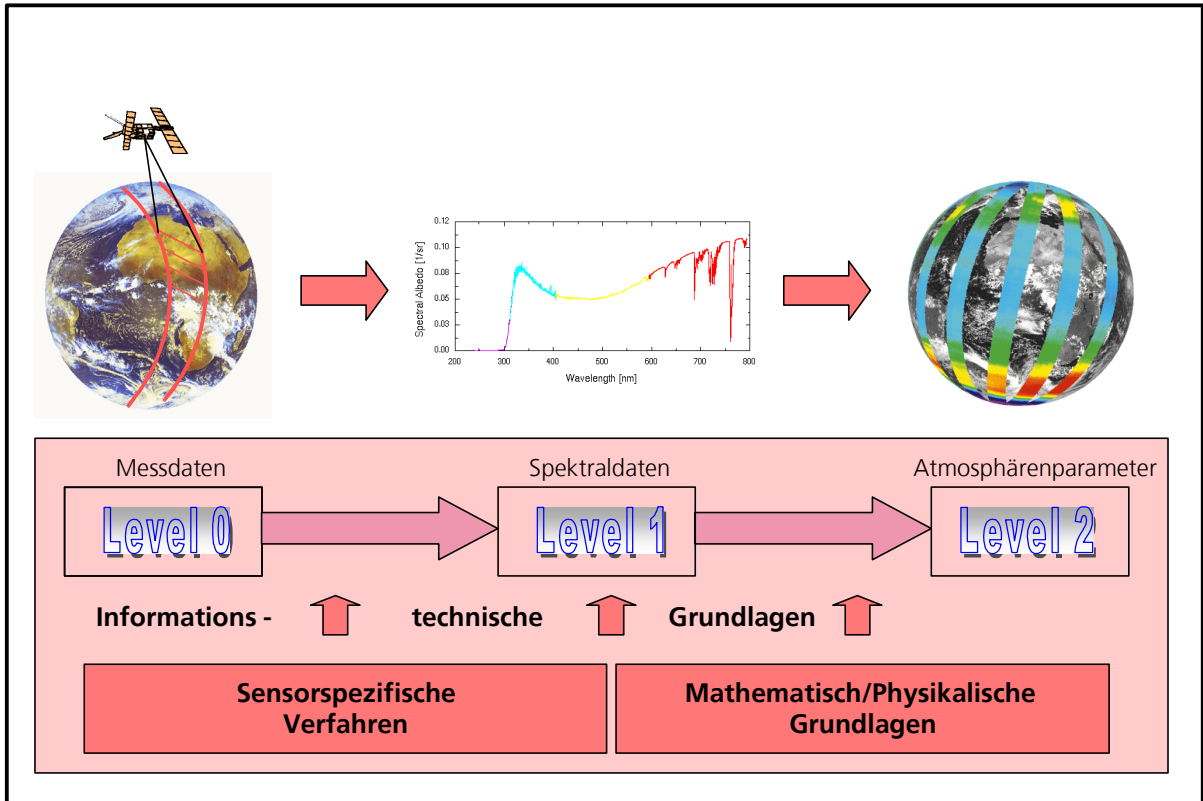


Abb. 1: Die Prozessierungskette für satellitengestützte Atmosphärenspektrometer und deren Abbildung auf die Struktur der Organisationseinheit Atmosphärenprozessoren

### 3. Höhepunkte des Jahres 2001

#### 3.1 Satellitengestützte Fernerkundung vulkanischer Aktivität

*W. Thomas*

Mit Beginn der Satellitenfernerkundung vor ca. 20 Jahren wurde es erstmals möglich, vulkanische Aktivität aus dem All zu beobachten. Erste Daten der auf Erdbeobachtung ausgelegten Sensoren (LANDSAT) zeigten Eruptionswolken und Lavaströme, während in jüngerer Zeit (1998) auch Messungen der emittierten Gase im Hinblick auf ihre Masse und ihre räumliche Verteilung durchgeführt werden konnten. Im November 1999 begann eine Phase stärkerer Aktivität am Ätna (Sizilien) und erreichte ihren vorläufigen Höhepunkt im Juli/August 2001 mit einer Serie spektakulärer Ausbrüche. Trotz der Intensität der Ausbrüche ist der Ätna kein eruptiver Vulkan, wie beispielsweise der benachbarte Vesuv, sondern zeichnet sich durch effusive Ausbrüche aus und gilt daher als ein insgesamt weniger gefährlicher Vulkan.

Die Eruptionen des Ätna wurden von mehreren Satellitensensoren beobachtet. Eines der Geräte ist das Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) an Bord des europäischen Umweltsatelliten ERS-2, der im April 1995 im Auftrag der europäischen Raumfahrtbehörde ESA gestartet wurde. Der GOME-Sensor wurde entsprechend seinem Namen für die Bestimmung der globalen Ozonverteilung konzipiert, jedoch ist es möglich, den Säulengehalt einer Reihe weiterer atmosphärischer Spurenstoffe wie z.B. Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ), Brommonoxid ( $\text{BrO}$ ), Chlordioxid ( $\text{OCIO}$ ), Formaldehyd ( $\text{HCHO}$ ), und Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) zu bestimmen. Das IMF ist im Auftrag der ESA federführend mit der Entwicklung des operationellen GOME Datenprozessors (GDP) befaßt. Eine weiterentwickelte Version dieses Softwarepaketes wurde zur Bestimmung der Schwefeldioxidverteilung verwendet.

Das GOME-Gerät misst in Nadirblickrichtung die vom System Erde-Atmosphäre zurückgestreute solare Strahlung in einem Spektralbereich von 240 nm bis 793 nm. Nachtmessungen sind demzufolge nicht möglich. Die spektrale Auflösung variiert von ca. 0.2 nm bis 0.4 nm. Der vergleichsweise hohen spektralen Auflösung steht eine reduzierte, für die Zwecke jedoch ausreichende räumliche Auflösung (bei festgelegter maximaler Datenrate) gegenüber. Diese beträgt im häufigsten Betriebsmodus  $320 \times 40 \text{ km}^2$  am Boden. Der Sensor ist mit einem Scanspiegel ausgestattet, der ein Abtasten der Atmosphäre in drei Schritten (senkrecht zur Flugrichtung) bei einer maximalen Auslenkung von  $\pm 30^\circ$  relativ zur Nadirrichtung ermöglicht. Vervollständigt wird eine Sequenz durch den sogenannten "backscan", das Zurückschwingen des Spiegels in seine Ausgangsposition. Damit wird innerhalb eines Scans in eine Richtung ein Gebiet von  $960 \times 40 \text{ km}^2$  überdeckt. Der Satellit folgt einer sonnensynchronen polaren Umlaufbahn (Äquatorpassage jeweils um 10:30 lokaler Ortszeit) wobei die Abtastrate des GOME-Sensors die Beobachtung des gleichen Gebietes innerhalb dreier Tage ermöglicht. Zusätzlich wird täglich über einen Intensitätsfilter ein Sonnenspektrum mit gleicher Auflösung bestimmt.

Die Messungen des GOME-Sensors sind Absorptionsmessungen, da aus dem Verhältnis der reflektierten zur einfallenden Strahlung die absorbierte Strahlung bestimmt werden kann. Durch Vergleich mit Laborspektren bei bekannter Absorbermenge und angenommener Zusammensetzung aus relevanten atmosphärischen Spurenstoffen (hier: Ozon, Stickstoffdioxid, Brommonoxid) wird schließlich der Gesamtgehalt an Schwefeldioxid in der Atmosphäre errechnet, wobei breitbandige Absorptionsstrukturen (Aerosol, Bodenreflexion) durch einen Polynomansatz berücksichtigt werden. Bei Bewölkung kann nur die oberhalb der Wolken liegende Menge eines Spurenstoffes bestimmt werden.

Ein wesentliches Problem der satellitengestützten Fernerkundung atmosphärischer Inhaltsstoffe ist die Abhängigkeit der errechneten Gesamtmenge eines Absorbers von seiner Vertikalverteilung. Diese ist typischerweise nicht bekannt, kann jedoch entweder aus klimatologischen Quellen oder anderen Messungen näherungsweise geliefert werden. Im vorliegenden Fall wurden Daten eines anderen Satellitensensors zur Bestimmung des Profils verwendet. Das Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) an Bord der NOAA-Satelliten liefert unter anderem Informationen über den Wolkenbedeckungsgrad und die Wolkenhöhe bei einer hohen räumlichen Auflösung von ca.  $1 \times 1 \text{ km}^2$  im Subsatellitenpunkt. Die sichtbaren Emissionen des Ätna (Asche, Rauchpartikel) wurden als mittelhohe Wolken im Bereich 3-6 km über Meeresniveau klassifiziert (Abb. 2). Unter Berücksichtigung der Höhe des Ätnagipfels (ca. 3.3 km) wurde die maximale Schwefeldioxidkonzentration bei 4 km über



Meeresniveau angenommen und ein entsprechendes Vertikalprofil bei der Auswertung der GOME-Daten berücksichtigt.

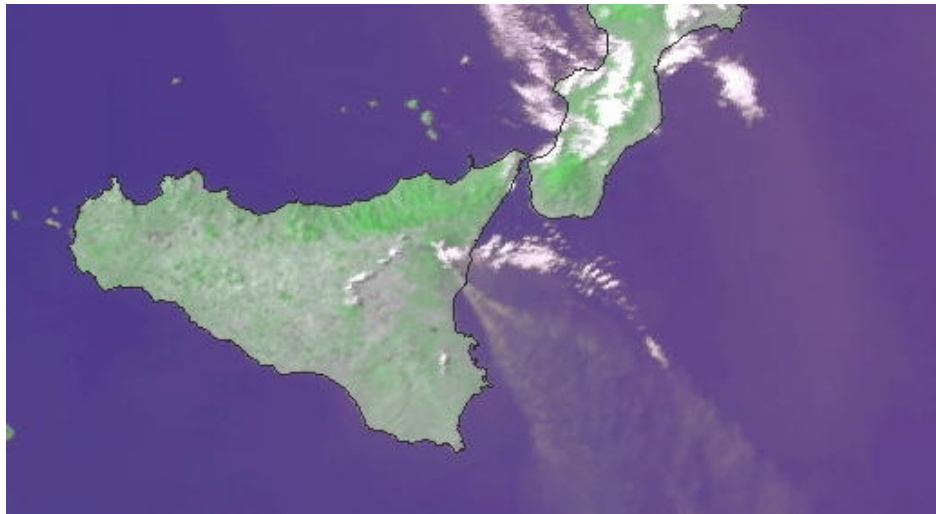


Abb. 2: Farbkomposit aus Daten des AVHRR (NOAA-14) vom 22. Juli 2001, 16:06 UTC über Sizilien. Deutlich erkennbar ist die durch Turbulenzen aufgefächerte Abgaswolke des Ätna (gelblich) und ihre Ausbreitung in südöstliche Richtung

Eine erste Analyse von GOME-Daten erfolgte nach Berichten über erhöhte Aktivität am Ätna im Zeitraum vom 12. bis 14. Juli 2001. Die errechnete Schwefeldioxidverteilung ist in Abb. 3 (links) zu sehen. Nur zehn Tage später jedoch ergibt sich ein wesentlich anderes Bild der  $\text{SO}_2$ -Verteilung im Untersuchungsgebiet (Abb. 3 rechts). Inzwischen ist ein Gebiet von rund  $300.000 \text{ km}^2$  mit einer Schwefeldioxidwolke bedeckt, deren Maximalkonzentration (Bildmitte) von  $3.1 \pm 0.75 \text{ DU}$  (Dobson Units) ca. 10-fach höher ist als die Hintergrundkonzentration.

Bemerkenswert ist die gute räumliche Übereinstimmung der sichtbaren Abgasfahne und des Gebietes mit erhöhter Schwefeldioxidbelastung (vgl. Abb. 2, Abb. 3 rechts). Die  $\text{SO}_2$ -Wolke wurde mit einigen Metern pro Sekunde in südöstliche Richtung transportiert wobei der lange Transportweg von ca. 1000 km den Schluß zulässt, dass das Schwefeldioxid weitgehend im selben Höhenbereich verblieb. Ein Absinken in tiefere Regionen unter 2 km hätte kürzere Transportwege zur Folge gehabt.

Eine weitere Intensivierung der Ausbrüche wird im Zeitraum vom 27. bis 29. Juli 2001 beobachtet (Abb. 4 links). Sowohl das betroffene Gebiet, als auch die Maximalkonzentration ( $4.5 \pm 1.1 \text{ DU}$ ) haben sich erneut deutlich erhöht, wobei  $\text{SO}_2$  aus einer früheren Eruption bereits die libysche Sahara in der Nähe der Großen Syrte erreicht hat. Im letzten Bild schließlich (Abb. 4 rechts) wird eine Abschwächung der eruptiven Phase deutlich, und Gebiete mit erhöhter  $\text{SO}_2$ -Säulendichte sind vor allem in unmittelbarer Nähe des Ätna zu beobachten, jedoch auch abgeschwächt wiederum über der Sahara. Aufgrund der vorherrschenden trockenen Bedingungen erfolgte der Abbau von  $\text{SO}_2$  hauptsächlich über Oxidationsprozesse und nur zu einem geringeren Teil über trockene Deposition.

Erschwerend wirkt sich bei der Abschätzung der insgesamt emittierten Mengen an Schwefeldioxid die kurze Lebensdauer des Gases in der unteren Atmosphäre von nur wenigen Tagen aus. Da die zeitliche Überdeckung von GOME nur jeden dritten Tag einen direkten Überflug über Sizilien ermöglicht, ist im Zeitraum dazwischen bereits eine erhebliche Menge an  $\text{SO}_2$  durch Oxidation und Deposition abgebaut worden. Bei Berücksichtigung einer Lebenszeit von 3 Tagen und unter Abzug einer Hintergrundkonzentration von  $0.3 \text{ DU}$  ergibt sich zwischen dem 21. Juli und dem 2. August ein geschätzter Gesamtausstoß von 200 Kilotonnen Schwefeldioxid.

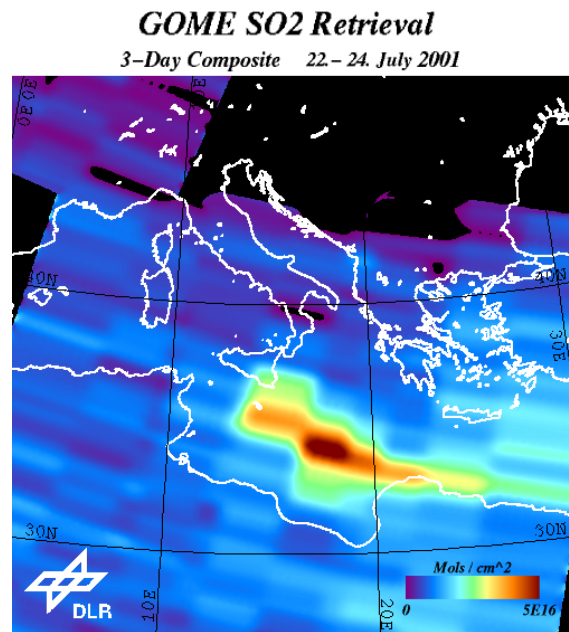
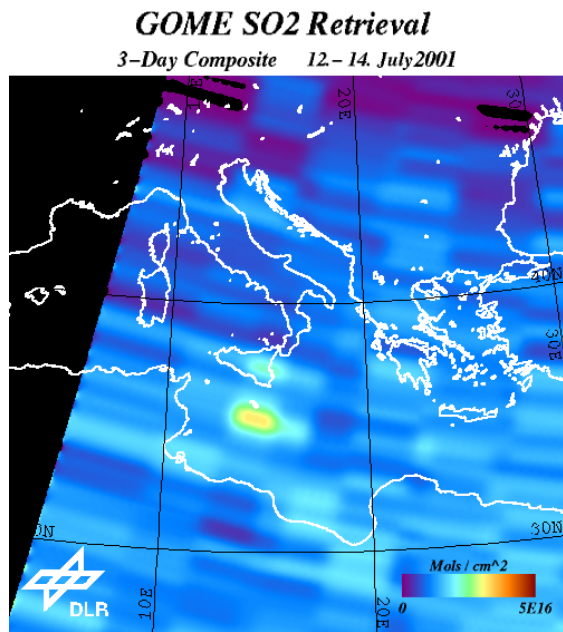


Abb. 3: 3-Tages-Komposit der aus GOME-Daten gewonnenen Schwefeldioxidverteilung im Mittelmeerraum im Zeitraum vom 12. bis 14. Juli 2001 (links) und vom 22. bis 24. Juli 2001 (rechts). Gut erkennbar im linken Bild sind zwei Gebiete mit erhöhter  $\text{SO}_2$ -Konzentration direkt am Ätna und südlich von Sizilien, während eine deutliche Steigerung des Schwefeldioxidausstoßes auf dem rechten Bild erkennbar wird.

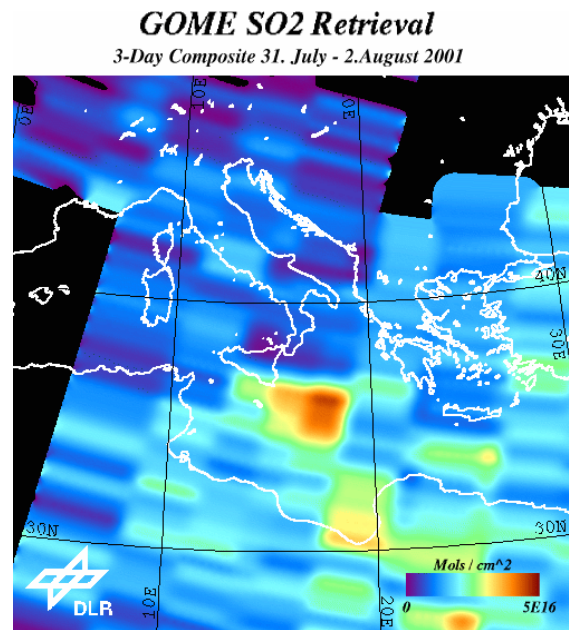
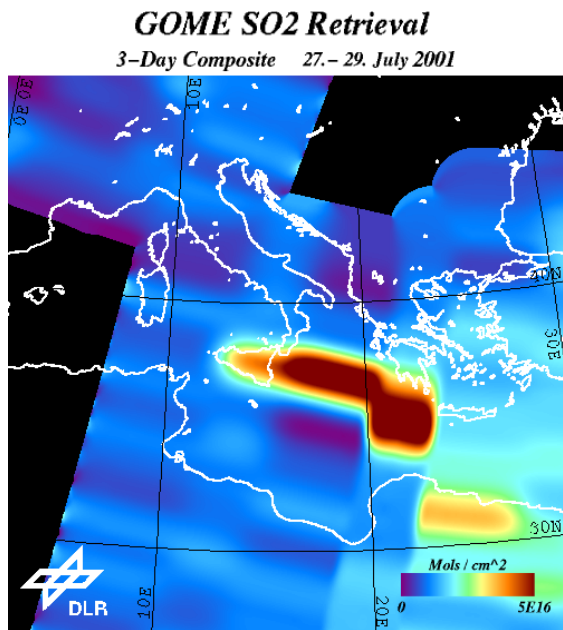


Abb 4: 3-Tages-Komposit der aus GOME-Daten gewonnenen Schwefeldioxidverteilung im Mittelmeerraum im Zeitraum vom 27. bis 29. Juli 2001 (links) und vom 31. Juli bis 2. August 2001 (rechts). Die Daten vom 28. Juli wurden während eines speziellen Betriebsmodus von GOME ohne Auslenkung des Scanspiegels gewonnen, wobei die räumliche Überdeckung deutlich kleiner ist.

### 3.2 GOME Near-Realtime Service

*D. Loyola, B. Aberle, zusammen mit T. Ruppert (DFD-MM), T. Erbertseder (DFD-KA)*

GOME-Daten werden an Bord des ERS-2-Satelliten auf Band gespeichert und einmal pro Orbit zu den Bodenstationen gesendet. Aufgrund der geographischen Gegebenheiten erhält die ESA-Station in Kiruna (Schweden) 10 Orbits pro Tag. Die restlichen Orbits, zumeist 4, werden zu den Stationen in Gatineau und Prince Albert (beide Kanada) sowie Maspalomas übertragen. Dort werden die Daten auf Kassetten gespeichert und per Post zum DFD in Oberpfaffenhofen gesendet, wo sie ungefähr zwei Wochen nach Empfang ankommen.

Der GOME Near-Realtime-Service (NRT) wurde unmittelbar nach der Installation des GOME-Datenprozessor-Systems im Januar 1997 in Kiruna zusammen mit dem Bremer Institut für Fernerkundung/Institut für Umweltphysik (IFE/IUP) und der ESA in Betrieb genommen. Die Spektren (Level 1) und die Ozon-Gesamtsäulen (Level 2) werden durch den GOME-Datenprozessor (GDP) erzeugt, der am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) entwickelt wurde und dort auch operationell betrieben wird. Die NRT-Produkte sind eine Stunde nach dem Datenempfang verfügbar.

Neue NRT-Produkte: Anfang des Jahres wurde die GDP-Software in Kiruna erweitert, so dass sie von nun an zwei weitere NRT-Produkte erzeugen kann, nämlich NO<sub>2</sub>-Gesamtsäulen (Abb. 5) und Wolkenbedeckungsgrade (Abb. 6). Das NO<sub>2</sub>-Produkt wird dabei mit dem selben Algorithmus wie das Offline-Produkt erzeugt. Der Wolkenbedeckungsgrad wird mittels OCRA, einem Wolkenbestimmungs-Algorithmus, der am IMF entwickelt wurde, berechnet. OCRA bestimmt die Wolkenbedeckung aus den GOME PMD-Daten mit einer nominellen Auflösung von 40x20 km<sup>2</sup>. Zuvor wurde OCRA durch Vergleiche mit ICFA, ATSR-2- und ISCCP-Daten validiert.

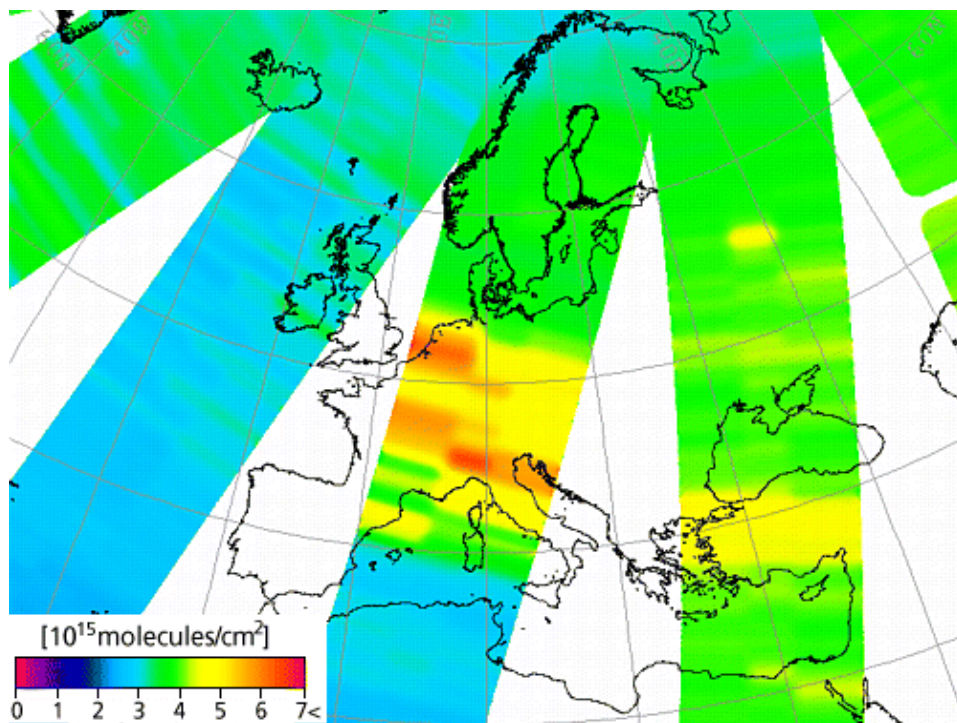


Abb. 5: GOME-NRT - NO<sub>2</sub> Daten vom 18. September 2001

Erweiterung der NRT-Dienste - GDP Installation in Gatineau: In Zusammenarbeit mit der Universität Bremen reichte das DLR im Jahr 2001 bei ESA einen Vorschlag ein, der die Ausdehnung des NRT-Service auf die Empfangsstationen Gatineau und Maspalomas zum Ziel hatte. Nach Akzeptierung konnte im November der GDP in enger Zusammenarbeit mit ESA und Natural Resources Canada (NRC) in Gatineau installiert und erfolgreich in Betrieb genommen werden. Damit lassen sich nun auch die Daten der kanadischen Empfangsstationen Gatineau und Prince Albert echtzeitnah verarbeiten und der Nutzergemeinde zur Verfügung stellen.

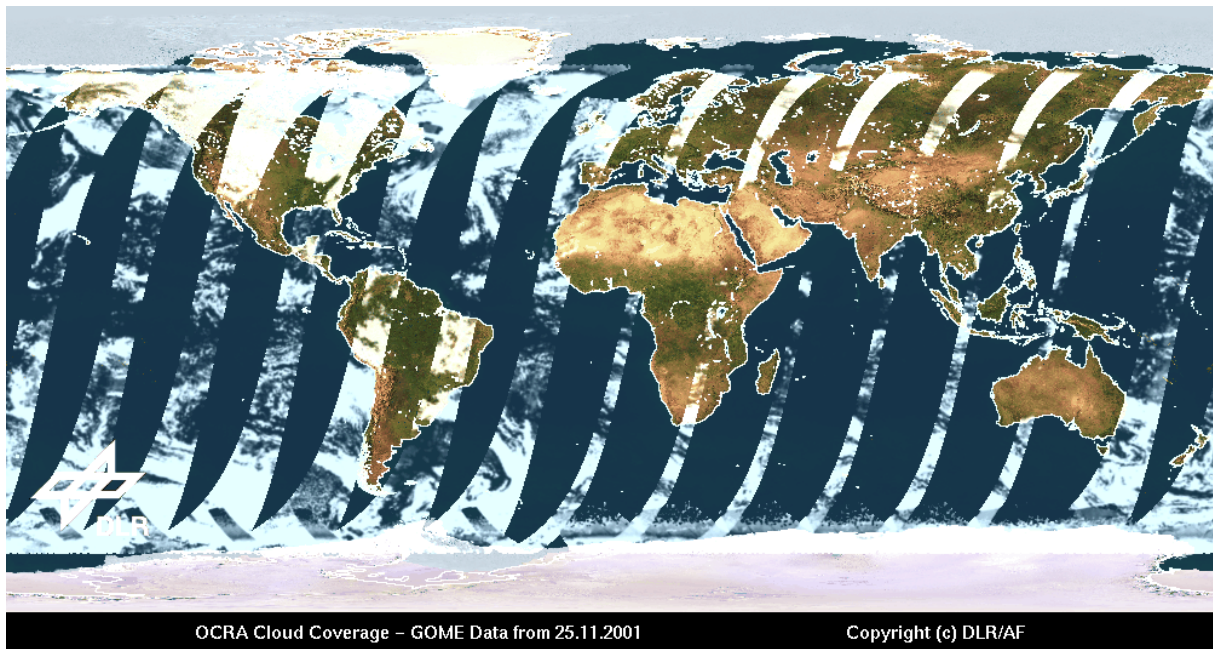


Abb. 6: GOME-NRT - OCRA Wolkenbedeckung vom 25. November 2001

Für den Beginn des Jahres 2002 ist die zusätzliche Installation des GDP in Maspalomas geplant. Damit wird man die dringend gewünschte globale Abdeckung erreichen, d.h. GOME NRT-Produkte von allen täglich anfallenden Orbits anbieten können. Bis zur Verfügbarkeit der NRT-Produkte aus Maspalomas wird als Übergangslösung ein NRT-Service betrieben, der auf den sogenannten „extended EGOI“ basiert. Die EGOI Daten, ein Extrakt der vollständigen GOME-Daten (ursprünglich von ESA-ESRIN nur zur Instrumentüberwachung benutzt), werden dabei zum DLR nach Oberpfaffenhofen geschickt und dort zur Produktion von Ozon-Gesamtsäulen mit dem Standard-GDP verwendet.

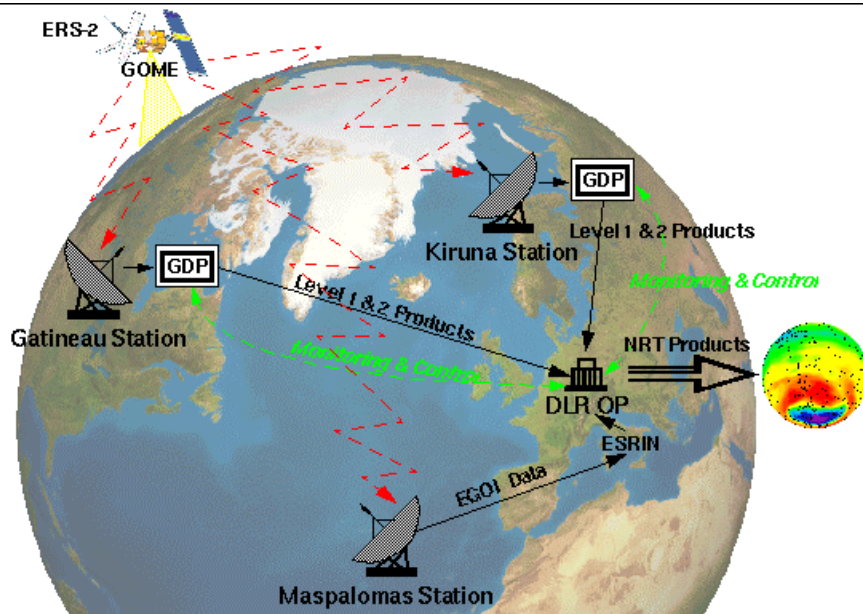


Abb. 7: GOME NRT-Bodensegment - Level 1 und Level 2 werden von Kiruna und Gatineau zum DLR transferiert. EGOI Daten aus Maspalomas werden von ESRIN zum DLR weitergeleitet, dort prozessiert und via Internet an Kunden verteilt

Die GOME NRT-Daten wurden bereits zur Koordination von Feld-Kampagnen zur Messung troposphärischer und stratosphärischer Spurengase verwendet. Zahlreiche Institutionen wie z.B. European Ozone Research Coordinating Unit (EORCU) und WMO haben das NRT-Angebot bisher erfolgreich

genutzt. Insbesondere erfolgte mit dem NRT-Service die Unterstützung der QUILT-Kampagne der Europäischen Union (Dezember 2000 bis Mai 2001) und eines neuerlichen Messzyklus, welcher von Dezember 2001 bis Mai 2002 laufen wird. Nähere Informationen zu beiden Unternehmungen findet man auf den Internetseiten

<http://www-iup.physik.uni-bremen.de/gomenrt2001/>  
<http://www-iup.physik.uni-bremen.de/gomenrt2002/>

Höherwertige Produkte (Level 3): Seit Beginn 2001 werden GOME NO<sub>2</sub> vertikale Säulendichteverteilungen echtzeitnah über das „Atmos User Center“ (AUC) des DFD angeboten. Aufgrund der hohen räumlichen Variabilität, primär bedingt durch bodennahe Emissionen und des ausgeprägten Tagesganges, eignen sich spektralanalytische Verfahren nicht zur Assimilation von NO<sub>2</sub>. Derzeit werden die projizierten GOME-Orbits auf Basis von 1 Tag, 3 Tagen sowie Monatsmittel im HDF-Format und als Quicklook angeboten (siehe Internetseite [http://auc.dfd.dlr.de/GOME\\_NRT/no2.html](http://auc.dfd.dlr.de/GOME_NRT/no2.html)). Erste Verfahren zur operationellen Trennung von stratosphärischem und troposphärischem NO<sub>2</sub> konnten erfolgreich umgesetzt werden. Der Ansatz beruht auf der Analyse und Entkopplung der längen-, breiten- und zeitabhängigen Variabilität von NO<sub>2</sub> auf unterschiedlichen Skalen. Um chemische Prozesse zu berücksichtigen, wurde die Assimilation der NO<sub>2</sub>-Daten in das 3D-Chemie-Transport-Modell ROSE im Rahmen des Projekts INVERT in Zusammenarbeit mit dem MPI Hamburg, NCAR Boulder und der Universität Köln begonnen.



German  
Remote Sensing Data Center

Nitrogen Dioxide Vertical Column Density  
ERS2 GOME

Nov 24–Nov 26, 2001

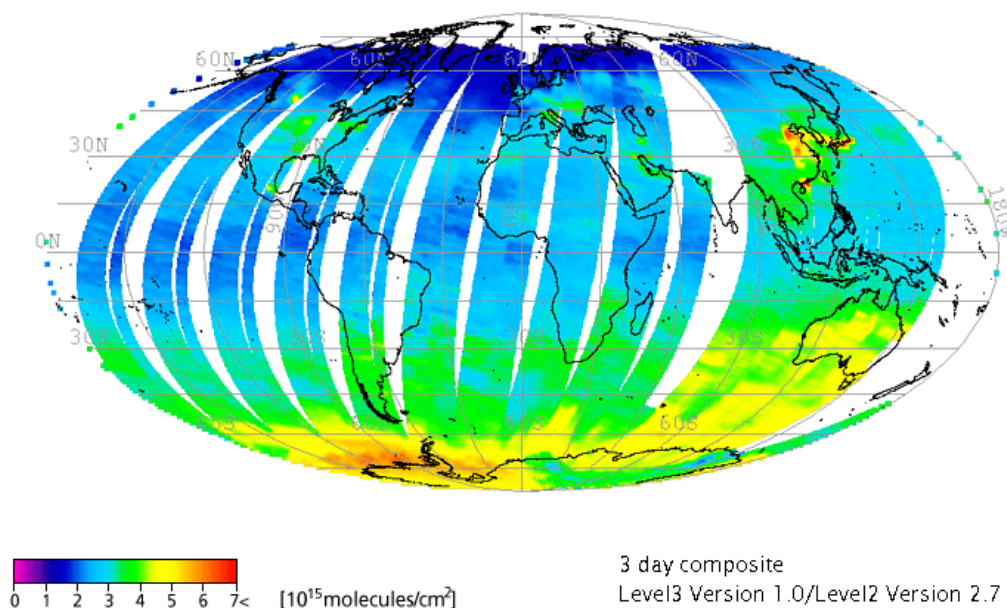


Abb. 8: GOME NRT NO<sub>2</sub>-Daten vom 24. -26. November 2001.

Die Gesamtverteilung von Ozon kann räumlich und zeitlich hochgradig variabel sein. Werden aus den räumlich und zeitlich heterogen verteilten GOME-Messungen (Level 2) synoptische Ozonverteilungen abgeleitet, muss diese Variabilität berücksichtigt werden. Zur Bestimmung von Quasi-Tagesmitteln wird deshalb das spektralanalytische Verfahren „Harmonische Analyse“ eingesetzt, dem ein planetares Wellenmodell zu Grunde liegt. Es ermöglicht, die Varianz der Ozonverteilung zu 98% zu erklären. Die Validierung der Daten mittels des Messnetzes der WMO durch die Universität Thessaloniki zeigte, dass trotz des Informationsgewinns synoptischer Karten kein signifikanter Fehler hinzugefügt wird.

Um Veränderungen im System *Atmosphäre* auf Zeitskalen < 1 Tag zu erfassen (z.B. Vortexrand, Streamer) wird das Kalman-Filter operationell eingesetzt. Hiermit kann die globale synoptische

Gesamtozonverteilung für einen beliebigen Zeitpunkt modelliert werden. Die Validierung mit 496 Einzelmessungen des Brewerphotospektrometers auf dem Hohenpeißenberg während einer Periode mit extremer Variabilität (Vortexrand über Europa) zeigte eine Differenz von 1.4% und eine Standardabweichung von 6%.

Von hohem Interesse ist die vertikale Ozonverteilung, d.h. die Ableitung von Ozonprofilen. Im Rahmen des EU-Projektes STREAMER wurde ein Verfahren entwickelt, das die schnelle operative Ableitung von Ozonprofilen im NRT-Modus aus GOME-Gesamtsäulen ermöglicht. Hierbei werden die GOME Level 2-Daten mit der „optimal Interpolation“ (OI) -Methode in das 3D-Chemie-Transport-Modell ROSE assimiliert, das die homogene und heterogene Chemie von 40 Spezies berücksichtigt. Die horizontale Auflösung liegt derzeit bei  $2.5 \times 2.8$  Grad, wobei mit 37 horizontalen Schichten im Bereich von ca. 8-55 km gerechnet wird. Die globale Ozonverteilung ist stündlich verfügbar. Die Validierung mit Sonden, LIDAR-Messungen sowie Satellitendaten von MLS, CRISTA und SAGE ergab, dass der relative Fehler für die meisten Schichten deutlich unter 20% liegt.

Weitergehende Informationen bzgl. der vom DLR bereitgestellten GOME NRT-Dienste finden sich auf zahlreichen Seiten im Internet. Im folgenden ist eine Auswahl von Adressen gegeben, die jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt:

[http://auc.dfd.dlr.de/GOME\\_NRT](http://auc.dfd.dlr.de/GOME_NRT) (GOME NRT-Seite am DFD)

<http://www.nilu.no/first-e.html> (GOME GDP Level 1 NRT-Daten werden an das NILU zur weiteren Verteilung und Prozessierung gesendet)

[ftp://esaftp.dfd.dlr.de/gomtcdo3/nrt\\_products/](ftp://esaftp.dfd.dlr.de/gomtcdo3/nrt_products/) (GOME GDP Level 2 NRT-Daten werden via Internet an die Nutzer verteilt)

[http://auc.dfd.dlr.de/ROSE/latest\\_rose\\_ozone.html](http://auc.dfd.dlr.de/ROSE/latest_rose_ozone.html) sowie

[ftp://auc.dfd.dlr.de/put/to\\_ubavie/OZON3D/](ftp://auc.dfd.dlr.de/put/to_ubavie/OZON3D/) (am DFD prozessierte Level 3-Produkte sowie weitere Informationen sind im AUC erhältlich und werden in NRT im HDF- und GIF-Format über FTP verteilt)

<http://www-iup.physik.uni-bremen.de/gomenrt2001/> (zusätzliche GOME NRT-Bilder werden von IFE/IUP bereitgestellt)

### 3.3 Entwicklung von Methoden zur Bestimmung der Streueigenschaften nichtsphärischer und inhomogener Aerosole

T. Rother, K. Schmidt, J. Wauer

Im Rahmen des Aerosolforschungsschwerpunktes (AFS) des BMBF wurde im Sommer 1998 das Lindenberger Schließungsexperiment LACE-98 durchgeführt. Mit diesem Experiment wurde das Ziel verfolgt, unterschiedlichste Messverfahren zur Charakterisierung atmosphärischen Aerosols an einem geographischen Ort zusammen zu bringen und auf die gleiche Luftsäule anzuwenden, um so Widersprüche zwischen den einzelnen Messverfahren besser aufdecken und deren Genauigkeiten besser einschätzen zu können. Das Spektrum der Messverfahren reichte vom bodengebundenen LIDAR bis hin zu flugzeuggetragenen „in situ“-Messungen. An die Messung schloss sich 1999 eine zweijährige Phase der Auswertung an, die im Frühjahr 2001 erfolgreich beendet werden konnte.

Einige der Messverfahren dienten dazu, die geometrischen Eigenschaften der Aerosole in Parameterbereichen zu charakterisieren, in denen Analysemethoden, die auf der Näherung der geometrischen Optik beruhen, nicht angewendet werden können. Deshalb bestand die Aufgabe des Projektes *Entwicklung von Methoden zur Bestimmung der Streueigenschaften nichtsphärischer und inhomogener Aerosole* darin, auf der Basis der strengen Lösung der Maxwell'schen Gleichungen besser geeignete Streulichtanalyseverfahren zu entwickeln. Anhand von Sensitivitätsstudien war abschließend der Einfluss der geometrischen und dielektrischen Eigenschaften des Aerosols auf die Genauigkeit und Widerspruchsfreiheit der während LACE-98 durchgeführten Messungen abzuschätzen.

Folgende Themen wurden schwerpunktmäßig bearbeitet:

- Erweiterung des in Neustrelitz entwickelten „Diskreten Mie-Formalismus“ (DMF) auf den notwendigen Größenparameterbereich (der Größenparameter bezeichnet das Verhältnis von geometrischer Abmessung des streuenden Objekts zur Wellenlänge des einfallendes Lichts)
- Entwicklung eines Modells zur Streulichtanalyse hexagonaler Eissäulen auf der Basis der Maxwell'schen Gleichungen
- Modellierung inhomogener Aerosole
- Aufbau einer für die Sensitivitätsstudien geeigneten Streudatenbank mit definierter Genauigkeit

Die Bedeutung nichtsphärischer Streuprozesse zeigt Abb. 9. Der dort zu sehende Effekt des 22°-Halos und die Nebensonnen werden durch die Lichtstreuung an hexagonalen Eisteilchen in Zirruswolken hervorgerufen. Will man deren Auswirkungen auf den Strahlungshaushalt der Atmosphäre genauer abschätzen, muss ihre mikrophysikalische Struktur besser berücksichtigt werden. Halo-Phänomene lassen sich prinzipiell nicht mit sphärischen Streuern beschreiben. Im Unterschied zum Regenbogen, der durch die Lichtstreuung an kugelförmigen Regentropfen hervorgerufen wird, zeigt der Halo-Effekt z.B. keine Polarisation.



Abb. 9: 22°-Halo und Nebensonnen einer Zirruswolke, aufgenommen in Neustrelitz am 26. März 1998.

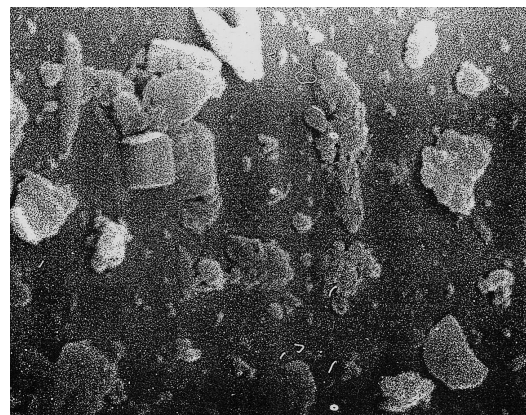


Abb. 10: Komponenten eines trockenen Wüstenaerosols unter dem Elektronenmikroskop (Aufnahme: Univ. Stuttgart).

Ein anderes Beispiel für nichtsphärische Aerosole ist in Abb. 10 zu sehen. Hierbei handelt es sich um die Komponenten eines Wüstenaerosols, die von einem Sandsturm über der Sahara stammen und eine große

Formenvielfalt aufweisen. Einige dieser Komponenten zeigen zugleich eine stark inhomogene Struktur. Um z.B. Sonnenphotometermessungen an solchen Aerosolen auswerten zu können, muss deren nichtsphärische Natur berücksichtigt werden.

Die *Phasenfunktion* ist eine die Lichtstreuung charakterisierende Größe, die u.a. den Mehrfachstreuerm der Strahlungstransfergleichung (STG) bestimmt. In ihr zeigen sich die Unterschiede im Streuverhalten sphärischer und nichtsphärischer Teilchen. Ziel aller Analyseverfahren ist die möglichst genaue Bestimmung der Phasenfunktion für vorgegebene Geometrien und physikalische Beschaffenheiten der Aerosole. Wird nicht nur die skalare Intensität sondern auch die Polarisation des gestreuten Lichtes gemessen, so benötigt man anstelle der Phasenfunktion die sogenannte Phasenmatrix. Deren erstes Element ist identisch mit der Phasenfunktion. Eine mit dem im Projekt entwickelten Verfahren berechnete Phasenfunktion hexagonaler Eissäulen, die bzgl. ihrer Zylinderachse beliebig orientiert sind, ist in Abb. 11 gezeigt. Deutlich ist der 22° Halo zu erkennen. Der für die Rechnung verwendete Größenparameter konnte mit keinem der bisher existierenden Verfahren erreicht werden.

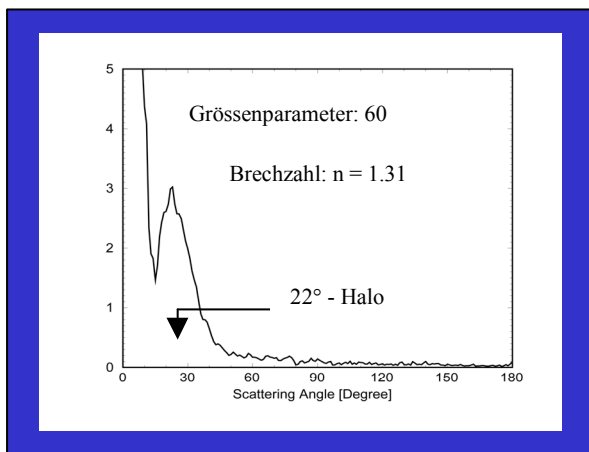


Abb. 11: Phasenfunktion eines hexagonalen Eisteilchens, berechnet mit einem strengen Analyseverfahren auf der Basis der Lösung der Maxwell'schen Gleichungen. Die Teilchen sind bzgl. ihrer Zylinderachse beliebig orientiert.

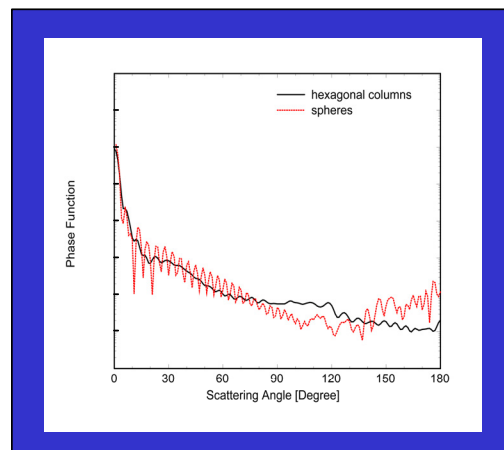


Abb. 12: Phasenfunktionen einer Verteilung hexagonaler Eisteilchen und der entsprechenden volumenäquivalenten Kugeln für einen IR-Kanal des AVHRR-Instruments.

In Abb. 12 ist die Phasenfunktion einer ganzen Größenverteilung von hexagonalen, in der Atmosphäre beliebig orientierter Eissäulen gezeigt. Zum Vergleich ist ebenfalls die Phasenfunktion der volumenäquivalenten sphärischen Teilchen eingezeichnet. Der Unterschied im seitlichen Rückstreubereich um 100° ist typisch für nichtsphärische Aerosole. Die Berechnungen erfolgten für einen infraroten Wellenlängenbereich, der keinen Halo-Effekt zeigt.

Zusammen mit dem mathematischen Institut der Universität Potsdam wurde eine Sensitivitätsstudie zum Einfluss der Aerosolgeometrie auf die Inversion der LIDAR-Gleichung durchgeführt. Wie Abb. 13 zu entnehmen ist, führen schon relativ kleine Abweichungen von der Kugelgeometrie zu nicht mehr vernachlässigbaren Fehlern in der Bestimmung der Größenverteilung.

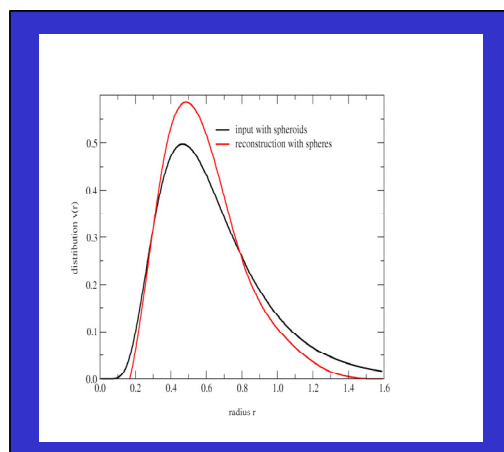


Abb. 13: Fehler in der Größenverteilung aus der Inversion der LIDAR-Gleichung. Die rote Kurve beschreibt die wirkliche Verteilung, die schwarze Kurve die invertierte Verteilung bei Vernachlässigung der vorgegebenen rotationselliptischen Geometrie.



Der *Diskrete Mie-Formalismus* ist ein spezielles Finite-Differenzen Verfahren (FDV) zur Lösung der Helmholtz-Gleichung, d.h. der partiellen Differentialgleichung, die der Streuung zugrunde liegt. Der Kerngedanke dieser Methode besteht in einer Modifizierung des Diskretisierungsschemas der konventionellen FDV. Das Schema wird derart abgeändert, dass für eine axialsymmetrische Streugeometrie nur die  $\theta$  - Variable in Übereinstimmung mit den zugehörigen Randbedingungen in  $\theta = 0, \pi$  diskretisiert wird. Daraus resultiert ein gekoppeltes gewöhnliches Differentialgleichungssystem für den radialen Anteil der Lösung. Letzteres wiederum lässt sich durch eine geeignete Transformation entkoppeln, so dass in dem sich ergebenden diskreten Raum die Lösung wie in der herkömmlichen Mie-Theorie bestimmt werden kann. Damit lassen sich auch auf der Ebene der differentiellen Formulierung des Streuproblems die von den Oberflächenintegralverfahren bekannten Vorteile realisieren. Diese sind:

- die exakte Erfüllung der Ausstrahlungsbedingung
- die Entkopplung der geometrischen und physikalischen Eigenschaften des Streuers von seiner Orientierung im einfallenden Feld.

Entscheidend für die Entwicklung eines numerisch stabilen und für die interessierenden Größenparameter einsetzbaren Verfahrens war, dass die formale Lösung in eine Form gebracht werden konnte, die eine starke Ähnlichkeit zur Methode der Separation der Variablen aufweist. Methodisch besonders interessant ist auch die Tatsache, dass sich eine Green'sche Funktion ableiten lässt, mit der die Äquivalenz zu anderen streng gültigen Verfahren nachgewiesen werden kann. Für gestreckte und gestauchte Rotationsellipsoide wurden eine Vielzahl von Vergleichsrechnungen zur Bestimmung der Genauigkeit des DMF durchgeführt und Look-up-Tabellen erstellt. Auf diese Programme kann über das „Virtuelle Streulabor“ zugegriffen werden (siehe hierzu den Beitrag 4.12 auf Seite 34). Gegenwärtig wird an einer Erweiterung des existierenden Programmpaketes hinsichtlich der Streulichtanalyse an nichtaxialsymmetrischen Teilchenformen gearbeitet.

*Inhomogene Aerosole* lassen sich mit Hilfe geeigneter Mischformeln modellieren, wobei unterschiedliche Parametrisierungen der Mischung beachtet werden müssen. Ist die Form der in einem Trägermedium befindlichen Komponenten und deren Volumenanteile am Gesamtvolumen des Streuers bekannt, bietet die sogenannte „Quasikristalline Näherung mit kohärentem Potential“ (QCA-CP) einen idealen Ansatz. Mit diesem Modell können Komponenten mit beliebigen dielektrischen Eigenschaften und sehr hohen Volumenanteilen gemischt werden. Die Berücksichtigung von Kohärenzeffekten erfolgt durch die Einführung entsprechender Paarverteilungsfunktionen, d.h. es wird stets die Wechselwirkung zwischen je zwei diskreten Einlagerungen betrachtet. Angewendet wurde diese Mischformel auf ein Wüstenaerosol, bestehend aus Montmorillonit als Untergrundmaterial, und aus Kaolinit und Illit als Einlagerungen mit unterschiedlichen Volumenanteilen. Zugänglich ist diese Mischformel ebenfalls über das bereits erwähnte „Virtuelle Streulabor“.

## 4. Laufende Projekte und Vorhaben

### 4.1 Gome Produkt-Erzeugung

*D. Loyola, B. Aberle, S. Hummel, W. Thomas*

Ziel dieses Projektes ist die technisch-wissenschaftliche Unterstützung der GOME-Mission auf ERS-2. Die Arbeiten konzentrieren sich auf die Erkennung, Charakterisierung und, wenn möglich, die Behebung von Anomalien in der Level-1- und Level-2-Prozessierung, wobei die Beschreibung der Degradation des Instruments im Vordergrund steht.

GOME-Degradation: Der Vergleich von GOME-Sonnenspektren mit pre-flight Messungen zeigt in allen Wellenlängenbereichen eine Sensordegradation. Hauptursache hierfür ist die Alterung der optischen Elemente durch die intensive Sonneneinstrahlung. Außerdem bewirkt die kosmische Teilchenstrahlung eine Änderung in der Güte der Detektoren, der Elektronik sowie der optischen Elemente. Beides führt zu einer sich langsam verschlechternden Charakteristik des Gerätes, was wiederum ein modifiziertes Ansprechverhalten bzgl. der einfallenden Strahlung bedingt. Durch geeignete Parametrisierungen lässt sich die Degradation beschreiben.

Im GOME-Degradationsprojekt werden diese Korrekturparameter bestimmt. Zur Berechnung der Änderungen der Strahlungssensitivitäten wird dazu das Verhältnis der verfügbaren Sonnenspektren zu einem Referenzspektrum untersucht. Als Referenzspektrum dient der 3. Juli 1995, an dem eine der ersten Sonnenmessungen von GOME unter stabilen Bedingungen durchgeführt wurde. In Abb. 14 ist das Verhältnis von Sonnenspektren aus dem Zeitraum von Juli 1996-2001 relativ zu demjenigen vom 3. Juli 1995 zu erkennen.

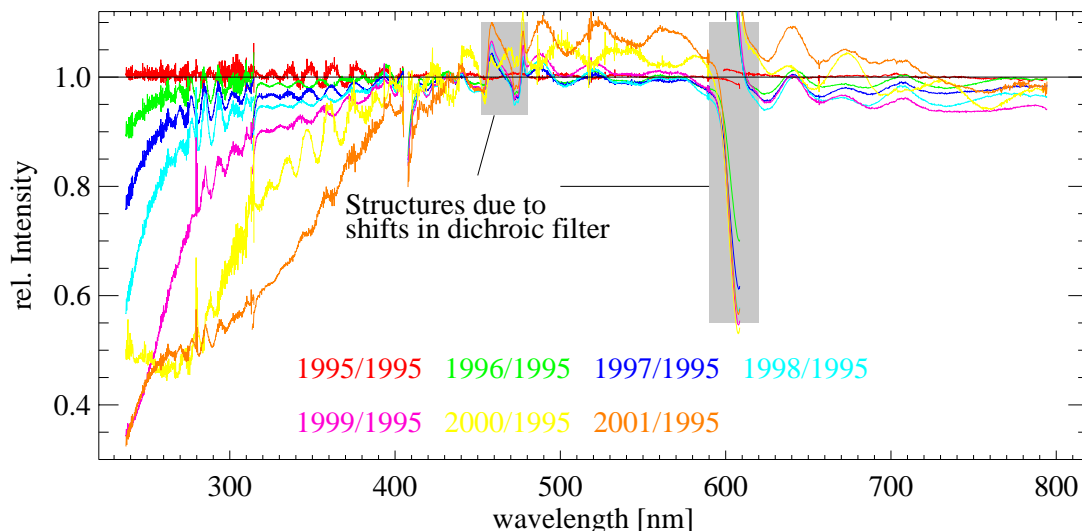


Abb. 14: Degradation der GOME-Kanäle in den Jahren 1995-2001.

Der Quotient des täglichen Sonnenspektrums und des Referenzspektrums lässt sich durch ein Polynom für jeden Kanal beschreiben. Dieses Polynom stellt die Degradation dar. Es ergibt sich eine Anpassung des Quotienten der Spektren über alle Wellenlängen. Ebenso kann die Zeitabhängigkeit der Polynomparameter wiederum als Polynom abgebildet werden. Die Degradationsanalyse wird alle 3 Monate durchgeführt. Die daraus resultierenden aktuellen Degradationsparameter finden sich auf der Internetseite <http://auc.dfd.dlr.de/GOME>.

ERS-2 Misspointing-Probleme: Anfang 2001 war der letzte Lageregelungskreislauf auf ERS-2 ausgefallen. Dadurch konnte die Ausrichtung der Sichtlinien nicht mehr gewährleistet werden, weshalb der GOME-Diffusor nur noch partiell von der Sonne beleuchtet wurde. Im Rahmen der hier beschriebenen Arbeiten war es erforderlich, eine ausführliche Analyse der ERS-2-Lageregelungsprobleme und ihrer

Auswirkungen auf die Qualität der Level 1 und Level 2 Produkte durchzuführen. Der Ausfall der ERS-2-Lageregelung konnte ebenfalls mit dem GOME-Qualitätssicherungstool, welches in der Qualitätssicherung von Level 1- und 2-Produkten Verwendung findet, nachgewiesen werden. Als Folge ergaben sich vor allem unrealistische Ozon- und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Außerdem waren Unregelmäßigkeiten bei Start- und Stopwellenlängen der Kanäle sichtbar, welche auf Temperaturschwankungen als Folge zahlreicher Aus- und Einschaltungszyklen von GOME zurückzuführen sind.

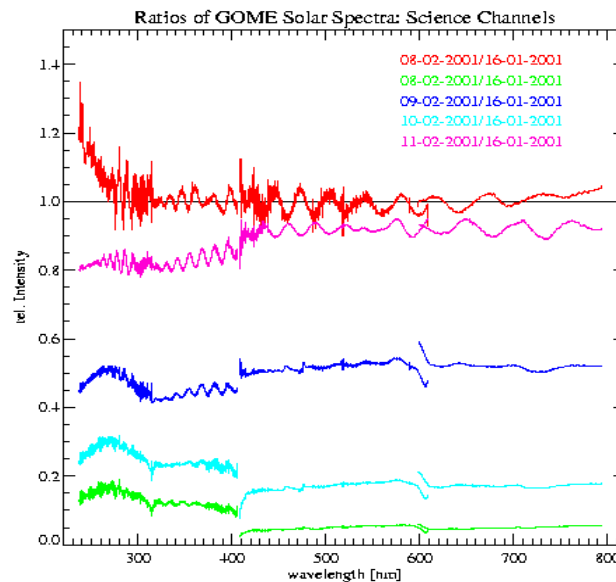


Abb. 15: Verhältnisse von GOME-Sonnenmessungen Februar 2001 (nach Ausfall der ERS-2-Lageregelung) zu Januar 2001

## 4.2 Erweiterung des GOME-Datenprozessors

*W. Thomas, D. Loyola*

Der GOME-Datenprozessor (GDP) wurde, beginnend im Jahr 1993, am IMF/DFD zur operationellen Auswertung der Daten des GOME-Instruments auf ERS-2 nach ESA-Vorgaben entwickelt. Momentan ist die GDP-Version 2.7 im Einsatz. Wissenschaftliche Validierungskampagnen haben gezeigt, dass weitere Verbesserungen am GDP die Qualität der abgeleiteten Spurengasparameter signifikant erhöhen können. Deshalb wurde im abgelaufenen Jahr die GDP-Version 3.0 entwickelt und implementiert. Die Aktivitäten im Berichtsjahr konzentrierten sich dabei auf die Verbesserung der aus GOME-Daten abgeleiteten Ozongesamtsäulen unter hohen Sonnenzenitwinkeln und unter Ozonlochbedingungen.

Die wesentlichen Änderungen der operationellen GDP-Software betrafen die Verbesserung der Bestimmung der Schrägsäulen (DOAS) durch Verwendung eines neueren Ringspektrums, die Hinzunahme von NO<sub>2</sub> als zusätzlichem Absorber, die Verwendung besser kalibrierter Ozon-Referenzspektrums und die Hinzunahme eines Ozon-Differenzspektrums, das sich aus der Differenz von Absorptionsquerschnitten mit unterschiedlichen Temperaturen errechnet. Zusätzlich erfolgte eine Verbesserung der Air Mass-Faktoren und der Gesamtsäulen durch die Implementierung eines iterativen Lösungsansatzes unter Verwendung neuronaler Netze und einer verbesserten Ozon-Profilklimatologie (abgeleitet aus TOMS V7).

Mit der nun vorliegenden verbesserten GDP-Version werden bekannte Schwachstellen, wie etwa die typischerweise im Vergleich mit Bodenmessungen und TOMS-Daten zu niedrigen Ozonwerte unter hohen Sonnenzenitwinkeln, beseitigt. Bei gestörter Ozonvertikalverteilung, wie sie u.a. während des Auftretens des antarktischen Ozonlochs beobachtet wird, ist ebenfalls eine Annäherung an die Ergebnisse anderer Messsysteme zu beobachten. Zudem haben sich die beobachteten Residuen der nichtlinearen Anpassung simulierter Spektren an die Messdaten nahezu halbiert. Intensive Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Gruppen (IFE/IUP Universität Bremen, BISA-Belgian Institute for Space

Aeronomy, Brüssel) ergaben eine Übereinstimmung der Ozonergebnisse für einen GOME-Orbit von besser als 0.4% (Abb. 16).

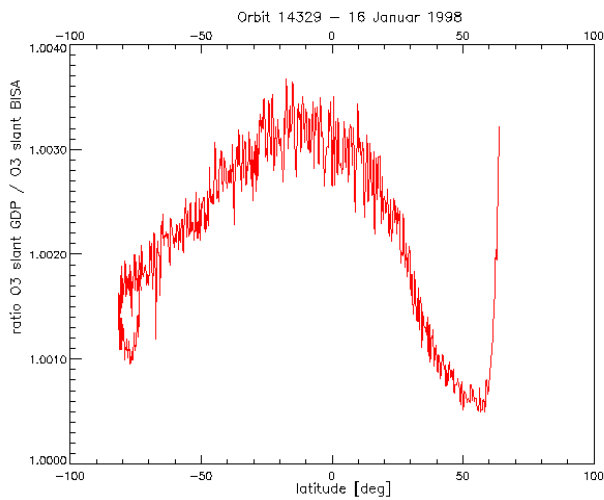


Abb 16: Verhältnis der Ozonschrägsäulen als Funktion der geographischen Breite, abgeleitet aus verbessertem GDP 3.0 und Referenzsoftware des BISA für GOME Orbit 14329 vom 16. Januar 1998

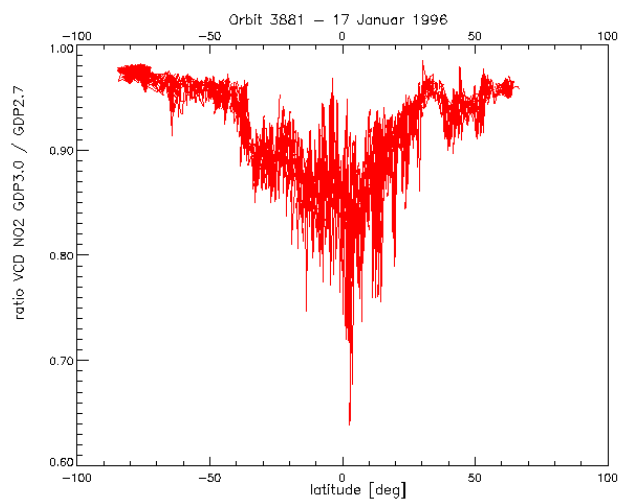


Abb 17: Verhältnis der NO<sub>2</sub>-Gesamtsäulen als Funktion der geographischen Breite, abgeleitet aus verbessertem GDP 3.0 und derzeit aktueller Version GDP 2.7 für GOME Orbit 3881 vom 17. Januar 1996

Zudem wurde eine Verbesserung der NO<sub>2</sub>-Gesamtsäulen erzielt. Die NO<sub>2</sub>-Ergebnisse profitieren ebenfalls von der Verwendung verbesserter Ringspektren und zeigen insgesamt niedrigere Gesamtsäulen, entsprechend der Forderungen der Validationskampagne des Jahres 1999. In den Tropengebieten ergibt sich eine Abnahme von 10% bis 30% (Abb. 17). Damit erhält man nun eine bessere Annäherung an bodengebundene Messungen.

### 4.3 SCIAMACHY NRT-Prozessor und Expert Support Lab

*K. Kretschel, D. Huber, S. Slijkhuis, W. Balzer*

Im ENVISAT-Bodensegment sind die Prozessoren, die die Verarbeitung der Messdaten im Near-Realtime-Modus (NRT) ermöglichen sollen, direkt an den beiden Datenempfangsstationen der ESA, d.h. in Kiruna und Frascati, angesiedelt. Dieser Modus sieht vor, dass die NRT-Endprodukte innerhalb von 3 Stunden nach Datenempfang über die bestehenden Schnittstellen an die Nutzer ausgeliefert werden.

Der SCIAMACHY NRT-Prozessor besteht aus den Schritten Level 0-1b-Prozessierung und anschließende Level 1b-2-Verarbeitung. Das Level-2-Produkt enthält die geolozierten Atmosphärenparameter, während das Level 1b-Produkt, die kalibrierten und geolozierten Strahldichten, nur als Zwischenprodukt in der Verarbeitungskette dient und nicht an die Nutzer weitergegeben wird. In Abhängigkeit der speziellen Messzustände von SCIAMACHY wertet der Level 0-1b-Prozessor Nadir, Limb, Okkultation und Kalibrierungs- bzw. Monitoringstates in unterschiedlicher Tiefe aus. Spurengasparameter, d.h. die Gesamtsäulendichten von Ozon, NO<sub>2</sub> und BrO, werden schließlich nur aus den Nadirstates abgeleitet. Im NRT-Modus erfolgt keine Prozessierung der Limb- und Okkultationsmessungen.

IMF-AP hat in den letzten Jahren im ESA-Auftrag sowohl die wissenschaftlichen als auch die informationstechnischen Grundlagen des NRT-Prozessors spezifiziert. Diese Spezifikationen dienen den von ESA beauftragten Industriepartnern als Grundlage für die Entwicklung und Implementierung des operationellen Prozessors. Im Jahr 2001 konnten die in die Verantwortlichkeit von IMF-AP fallenden Arbeiten abgeschlossen und sowohl die erforderliche Dokumentation (Input/Output Data Definition, Detailed Processing Model) als auch die Prototypen für beide Verarbeitungsschritte endgültig erstellt und entwickelt werden. Mit diesen Prototypen ist es möglich, Referenzergebnisse zu erzielen, die zur Verifikation des davon unabhängig codierten operationellen Prozessors dienen. Die Prototypen erreichen in ihrer Eigenschaft als experimentelle Systeme zwar nicht die operationell geforderten Verarbeitungsgeschwindigkeiten, stellen jedoch die gesamte Funktionalität der modularen

Verarbeitungsschritte bereit. So modelliert der Level 0-1b Prototyp das Messverfahren einschließlich der Instrumenteigenschaften. Der Level 1b-2 Prototyp wendet die mit GOME auf ERS-2 etablierten wissenschaftlichen Algorithmen zur Ableitung von Spurengasen aus Absorptionsspektren im UV- und visuellen Spektralbereich an.

In Zusammenarbeit mit ESA und den Industriepartnern war IMF-AP an der erfolgreichen Abnahme des operationellen NRT-Prozessors im Juni (Schritt Level 1b-2) und Oktober (Schritt Level 0-1b) beteiligt. Dazu wurden simulierte Testdaten repräsentativer Messsequenzen erzeugt, die vom operationellen Prozessor entsprechend den Anforderungen verarbeitet werden mussten. Dieser wird von Beginn der ENVISAT-Mission an die erhaltenen Messdaten verarbeiten. Da aufgrund von bereits absehbaren Erweiterungen der wissenschaftlichen Algorithmen eine Modifikation des operationellen Prozessors erforderlich sein wird – auch getrieben durch die während der Commissioning-Phase gewonnenen Erkenntnisse – wird IMF-AP in diesem Bereich zukünftig in der Funktion eines SCIAMACHY „Expert Support Lab – ESL“ tätig sein.

| <b>Schräge Säulen (Slant Columns)</b>              |             |             |            |
|--|-------------|-------------|------------|
|  | GOME        | SCIAMACHY   | Abweichung |
| O <sub>3</sub>                                     | 1.9297E+19  | 1.9293E+19  | 0.02 %     |
| NO <sub>2</sub>                                    | 8.0159E+15  | 8.0229E+15  | 0.09 %     |
| <b>Luftmassenfaktoren (Air Mass Factors - AMF)</b> |             |             |            |
| O <sub>3</sub>                                     | 2.251       | 2.25503     | 0.2 %      |
| NO <sub>2</sub>                                    | 2.274       | 2.28403     | 0.4 %      |
| <b>Vertikalsäulen (Vertical Columns)</b>           |             |             |            |
| O <sub>3</sub>                                     | 8.41551E+18 | 8.66032E+18 | 2.8 %      |
| NO <sub>2</sub>                                    | 3.59707E+15 | 3.64431E+15 | 1.3 %      |

Tabelle 1: Vergleich von GOME und SCIAMACHY (Prototyp) Ergebnissen. O<sub>3</sub> ist bei 325 nm, NO<sub>2</sub> bei 437.5 nm gemessen. Die Säulen sind in mols/cm<sup>2</sup> berechnet.

Tabelle 1 vergleicht Resultate, gewonnen mittels des GDP und des SCIAMACHY-NRT Level-2 Prozessors für Ozon und NO<sub>2</sub>. Die Übereinstimmungen für schräge Säulen und Luftmassenfaktoren sind sehr gut, die etwas höhere Abweichung bei Vertikalsäulen ist durch gewisse Unterschiede in der Verwendung von GOMETRAN als Vorwärtsmodell bedingt.

#### 4.4 SCIAMACHY Offline-Prozessor

*W. Balzer, A. von Barga, U. Böttger, D. Huber, K. Kretschel, S. Slijkhuis, U. Steinbrecher, zusammen mit R. Spurr (SAO)*

Die ENVISAT-Daten werden von ESA-Einrichtungen empfangen und dort mit Hilfe von Near-Realtime (NRT)-Prozessoren verarbeitet. Zusätzlich hat die ESA nationale Prozessierungs- und Archivierungszentren (PAC) beauftragt, Offline-Prozessoren zu betreiben. Diese Offline-Prozessoren werden im nationalen Auftrag entwickelt. Ihre Produkte unterliegen nicht den strengen Kriterien der zeitlichen Verfügbarkeit eines NRT-Produkts, so dass sich die Möglichkeit eröffnet, weitergehende – sowohl wissenschaftlich als auch technisch verfeinerte Verfahren – auf die Auswertung der Daten anzuwenden.

In IMF-AP wird der SCIAMACHY Level-2 Offline-Prozessor als Teil des ENVISAT D-PAC Aufbaus entwickelt. Dabei wird das Ziel verfolgt, eine operationelle Verarbeitungskette von SCIAMACHY Level-1b- zu Level-2-Produkten aufzubauen und in das D-PAC als Teil des Payload Data Segment der ESA zu integrieren. Im Gegensatz zu dem ebenfalls in IMF-AP angesiedelten Projekt „SCIAMACHY NRT Prozessor“ (Kap. 4.3), welches die Erstellung von Spezifikationen, den Aufbau eines Prototypprozessors sowie die Erzeugung von Testdaten umfasst, wird der Aufbau des Offline-Prozessors vom Entwurf über die Codierung bis zum Test des Prozessors in der operationellen Umgebung vollständig in IMF-AP durchgeführt. Der Offline-Prozessor unterscheidet sich vom NRT-Prozessor durch die Einbeziehung

verbesserter Algorithmen und durch den Einsatz eines zusätzlichen Moduls, das die Auswertung von Daten, die in Limb-Beobachtungsgeometrie gemessen werden, erlaubt. Im endgültigen Level-2 Offline-Produkt werden deshalb zusätzlich zu den Ergebnissen aus Messungen in Nadir-Beobachtungsgeometrie (Gesamtsäulen) auch diejenigen der Limb-Beobachtungen (Profile) zur Verfügung stehen. Ein Vergleich der ableitbaren Spurengase zwischen dem Offline- und NRT-Prozessor ist in Tabelle 2 gegeben.

| Beobachtungsmodus | Offline   | NRT                                    |
|-------------------|---|--|
| Nadir             | O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , BrO, OClO, SO <sub>2</sub> ,<br>HCHO, H <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> , CO,<br>N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , BrO |
| Limb              | O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , BrO, H <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> ,<br>CO, N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>                                  | keine Auswertung                       |

Tabelle 2: SCIAMACHY Level 2 Offline- und NRT-Prozessor-Spurengasprodukte

Im Jahr 2001 wurde die Entwicklung des SCIAMACHY Level-2 Offline-Prozessors kontinuierlich fortgeführt. Ein wichtiger Meilenstein zur Fertigstellung des Prozessors war die Übergabe und der Einbau des Prototyps bzw. Moduls für die Auswertung von Limb-Messdaten. Dieser Prototyp wurde am Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO, Cambridge/MA) im Auftrag des DLR entwickelt. IMF-AP hat dabei einerseits die wissenschaftlichen Grundlagen mitgestaltet, andererseits den Prototyp systemtechnisch in die Prozessorumgebung integriert. Dazu wurden die Schnittstellen für die operationelle Umgebung spezifiziert, entwickelt und implementiert. Die Bestandteile des Offline-Prozessors, welche die Auswertungen der Nadir-Messungen betreffen, sind eine Weiterentwicklung des bereits im Rahmen des im SCIAMACHY Level-2 NRT-Prozessor eingesetzten Quellcodes. Dabei wurden die einzelnen Module systemtechnisch modifiziert und in eine neuartige Prozessorarchitektur eingepasst.

Zur Unterstützung der Prozessorentwicklung wurde im Berichtsjahr das SCIAMACHY Algorithm Support Team (SAST), eine Kooperation zwischen IMF-AP und dem Institut für Fernerkundung (IFE) der Universität Bremen, etabliert. SAST hat die Aufgabe, die Prozessorentwicklung wissenschaftlich zu begleiten. Dabei spielt die Verifikation des Prozessors durch simulierte Daten eine wichtige Rolle, da die Vielzahl neuer algorithmischer Verfahren eine Untersuchung und einen Vergleich mit existierenden Atmosphären-Retrievalverfahren und deren Ergebnissen erfordert.

Die Systemarchitektur wurde im Hinblick auf ein durchgehendes, integratives Prozessorkonzept ergänzt. Detaillierte systemtechnische Arbeiten betrafen die Ablaufsteuerung (Dispatcher), den Datenbankserver, den Retrieval- und Pixel-Server sowie diverse Schnittstellen zu Ein- und Ausgabedateien des Prozessors. Zusätzlich war es erforderlich, das Format des Level-2 Offline-Produkts an die geänderten Anforderungen des Moduls zur Verarbeitung der Limb-Messdaten anzupassen.

Der näherrückende Starttermin erforderte außerdem das Vorantreiben der Planung der Test- und Commissioning-Phase. Dazu wird nach Vorgabe seitens ESA ein web-basierter Verifikationsplan erstellt, der auch externe Gruppen in die Verifikation des Prozessors einbezieht. Der Verifikationsplan soll in der Vorbereitungsphase erlauben, Ziele und Aufgaben wissenschaftlicher Tests zu definieren, um den Funktionsumfang des Prozessors möglichst vollständig überprüfen zu können. Nach dem erfolgreichen Start von ENVISAT wird dieser Verifikationsplan eine web-basierte Datenbank speisen, mittels der die Verifikationsergebnisse der externen Gruppen, welche SCIAMACHY-Daten auswerten, zentral verwaltet werden können.

#### 4.5 SCIAMACHY-Betriebsunterstützung - SOST

*M. Gottwald, E. Krieg, W. Döhler, zusammen mit J. How (DFD-IT) und K. Reissig (IBR)*

Das Atmosphäreninstrument SCIAMACHY ist ESA als deutsch-niederländisches Projekt der Nutzlast des Erdbeobachtungssatelliten ENVISAT beigestellt worden. SCIAMACHY wird deshalb zwar zusammen mit den anderen ENVISAT-Instrumenten von ESA im Orbit betrieben, aufgrund seines nationalen Charakters fällt jedoch die Planung und Langzeit-Überwachung des Instrumentbetriebs in den Zuständigkeitsbereich der SCIAMACHY-Projektleitung im DLR. Zu diesem Zweck ist das SCIAMACHY-Betriebsunterstützungsteam (SOST) gegründet worden, welches sich aus Mitarbeitern von IMF-AP sowie dem Institut für Fernerkundung (IFE) der Universität Bremen zusammensetzt. SOST bearbeitet seit 1996 den Aufbau der SCIAMACHY-spezifischen Bodensegmente und unterstützt ESA in allen technisch-wissenschaftlichen Belangen hinsichtlich des SCIAMACHY-Betriebes.

Das Berichtsjahr stand im Zeichen des in Kürze bevorstehenden Starts von ENVISAT. In den von SOST-IMF zu verantwortenden Bereichen Missionsplanung, Instrument-Langzeitüberwachung sowie Definition und Pflege der an Bord gespeicherten Messkonfigurationen konnte ein Zustand erreicht werden, aufgrund dessen „Flight Readiness“ bis zum Starttermin erreicht werden wird.

Missionsplanung: Das Konzept zur Planung der SCIAMACHY-Messungen wurde soweit modifiziert, dass SOST-IMF in der Lage ist, ausgehend von einer detaillierten Analyse der Sichtbarkeitsbedingungen von Sonne und Mond entlang des ENVISAT-Orbits den von ENVISAT geforderten Planungsbeitrag zu erstellen und zusätzlich simulierte Zeitpläne abzuleiten, die mit einer Genauigkeit von 1-2 Sekunden das geplante Messprogramm abbilden. Auch die Anforderungen seitens der wissenschaftlichen Validierungsgruppen, Vorhersagen über die Sichtlinien bei der Ausführung einzelner States zu erhalten, konnte umgesetzt werden. Die für die Missionsplanung erforderlichen Software-Werkzeuge sind in einer ersten Version erstellt und werden derzeit verifiziert. Das iterative SCIAMACHY-Missionsplanungskonzept erfordert das Zusammenwirken von SOST-IMF mit ENVISAT-Planungseinrichtungen in ESTEC und ESOC.

Instrument-Langzeitüberwachung: Eine Reihe von Softwaremodulen konnte fertiggestellt werden, mit welchen die Überwachung des Level 0-Datenstroms und der Housekeeping-Telemetrie möglich ist. Der Level 0-Screener ist in das DIMS-System eingebunden und wird automatisch nach Erhalt eines Level 0-Produkts eine Standardanalyse zum Instrumentzustand während eines Orbits durchführen. Optional soll er auch den interaktiven Einsatz erlauben. Das Housekeeping-Telemetrie-Tool verarbeitet die vom ENVISAT Flight Operation Control Centre ankommenden Telemetrie-Daten und bereitet sie zur Analyse auf. Abb. 18 zeigt, wie der Inhalt einer speziellen Housekeeping-Datei graphisch dargestellt wird. Basierend auf den Ergebnissen aus der Instrumentüberwachung wird im Routinebetrieb entschieden werden, ob in das aktuelle Betriebskonzept von SCIAMACHY korrigierend eingegriffen werden muss.

Bord-Messkonfiguration: Die an Bord gespeicherten Messparameter-Tabellen und Timelines wurden einer umgehenden Revision unterzogen. In diesem Rahmen konnten sowohl die Tabelleninhalte für die Startkonfiguration von SCIAMACHY als auch für das Ende der Commissioning-Phase abgeleitet werden. Insbesondere bestand eine enge Zusammenarbeit mit Astrium hinsichtlich der Definition von speziellen Commissioning-Messaktivitäten. Da die hier angesprochenen Tabellen den wesentlichen Inhalt der Command & Control-Schnittstelle zwischen SOST-IMF und dem ENVISAT Flight Operation Control Centre darstellen, wurde die Schnittstellensoftware entsprechend an geänderte Tabelleninhalte oder – falls erforderlich – an modifizierte Schnittstellenanforderungen angepasst.

In Unterstützung der ESA wurden zahlreiche Bodensegment-Tests durchgeführt bzw. technisch-wissenschaftlich begleitet. Dazu gehörte als eine der wichtigsten Simulationen der System Validation Test Nr. 3, in dem SCIAMACHY von ESOC aus kommandiert wurde. Im Rahmen dieses Tests konnten die von SOST-IMF entwickelten Software-Werkzeuge erfolgreich eingesetzt und die Gültigkeit des in den vergangenen Jahren ausgearbeiteten Betriebskonzepts verifiziert werden. Damit war es möglich, zusammen mit Astrium den Instrumentbetrieb detailliert zu analysieren und die Optimierung von Komponenten im Flight Operation Segment zu initiieren.

Wesentliche Fortschritte wurden bei der Konzeption und Einrichtung der von SOST geplanten Web-Informationsseiten erreicht. Da Teile der Nutzergemeinde stark an den von SOST bearbeiteten Themen interessiert sind – vor allem Missionsplanung und Instrumentüberwachung – entwickelte SOST eine in sich geschlossene Webseitenstruktur, die die jeweils aktuellen Pläne sowie den Instrumentzustand

bereitstellt. Es wurde begonnen, die Inhalte der individuellen Seiten einzufügen. Zum Start von ENVISAT soll die gesamte Information wie beabsichtigt über den Web-Zugang verfügbar sein.

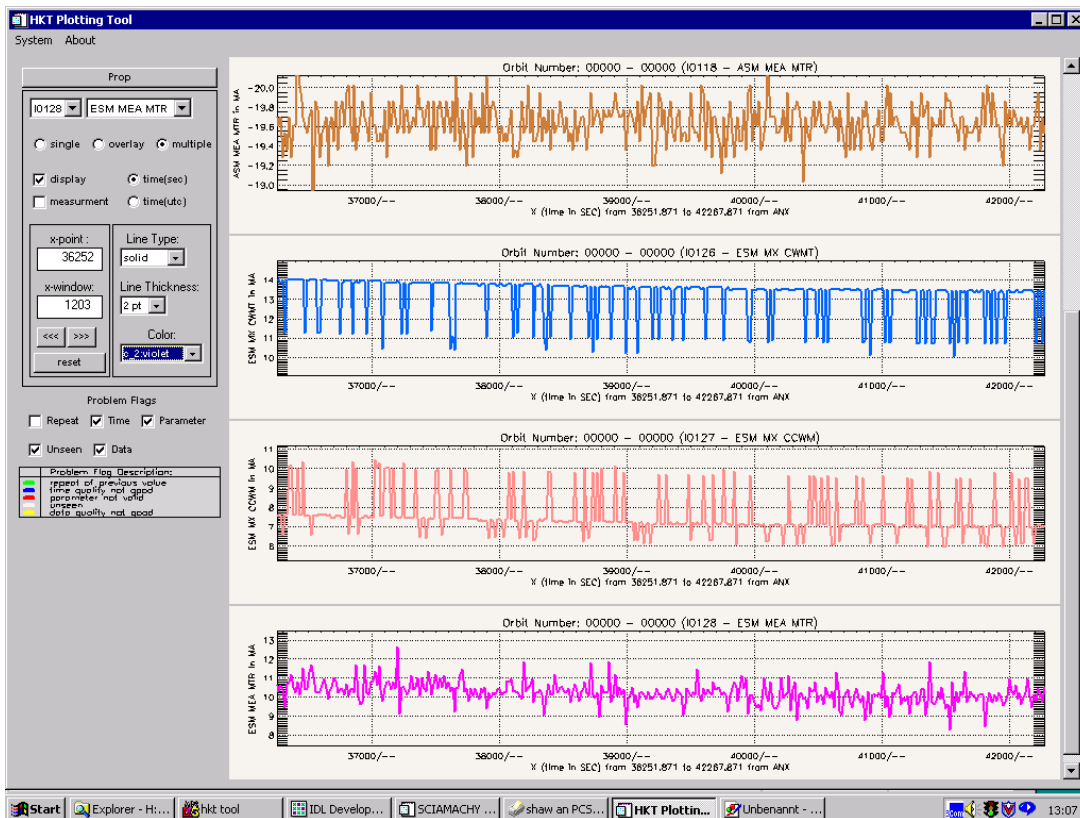


Abb. 18: Analyse von Housekeeping-Telemetriedaten unter Benutzung des Housekeeping-Telemetriertools. Die von ENVISAT gelieferten Dateien enthalten definierte Instrumentparameter, die mittels des Tools graphisch dargestellt bzw. numerisch und statistisch analysiert werden können

#### 4.6 Ozon Satellite Application Facility - SAF

*D. Loyola, W. Thomas, zusammen mit E. Mikusch (DFD-IT)*

Das Cluster „Angewandte Fernerkundung“ ist Mitglied im europäischen Gremium zur Einrichtung des Ozon-SAF im Rahmen der EUMETSAT-Bodensegmente für die MSG- und METOP-Missionen. Unter Führung des Finnischen Meteorologischen Instituts (FMI) entsteht ein europaweit verteiltes Zentrum zur Ableitung von Atmosphärenparametern – vornehmlich Ozon – aus Daten der genannten Erdbeobachtungssatelliten. Basierend auf den jahrelangen Erfahrungen im Aufbau und Betrieb des GOME-Datenprozessors hat IMF-AP in diesem Projekt die Aufgabe übernommen, eine Prozessorkette zur Bestimmung von Gesamtsäulen aus GOME-2-Messungen der METOP-Satelliten zu entwickeln, dessen erster Start in ca. 4 Jahren geplant ist.

Im Jahr 2001 wurden vor allem Arbeiten zur Konzeption der SAF-Bodeninfrastruktur durchgeführt. Dies betraf im wesentlichen die Architektur und die Einführung von Konfigurationskontrollmechanismen. Insbesondere ließ sich in Zusammenarbeit mit DFD-IT eine Gesamtkonzeption auf der Basis von DIMS erstellen (siehe Abb. 19). Dessen Multi-Missions-Architektur bietet für den Einsatz im Ozon-SAF interessante Perspektiven. Nach EUMETSAT-Vorgaben wurden die Schnittstellen zwischen dem EUMETSAT-Kernbodensegment (UMARF und EPS) und den Empfangseinrichtungen im SAF spezifiziert. Die Beschreibung der Schnittstellen befasst sich vor allem mit der Lieferung von Near-Realtime Level-1b-Produkten über die Satellitenverbindung von EUMETSAT zum SAF, enthält aber auch die SAF-interne Kommunikation. Darüber hinaus wurden Fortschritte bei der Definition der wissenschaftlichen Grundlagen des Prozessor-Prototyps erreicht. Die Gesamtheit dieser technisch-wissenschaftlichen Aktivitäten kulminierte in dem von EUMETSAT und FMI zusammen mit externen Gutachtern organisierten Ozon-SAF Midterm Review. IMF-AP konnte erfolgreich seinen Beitrag vertreten und die Grundlagen für die Implementierung des operationellen Prozessors schaffen.





Grund wird teilweise eine nur scheinbare gegenläufige zeitliche Verteilung der Maxima und Minima der  $\text{SO}_2$ -Konzentration gefunden (Sommermaxima).

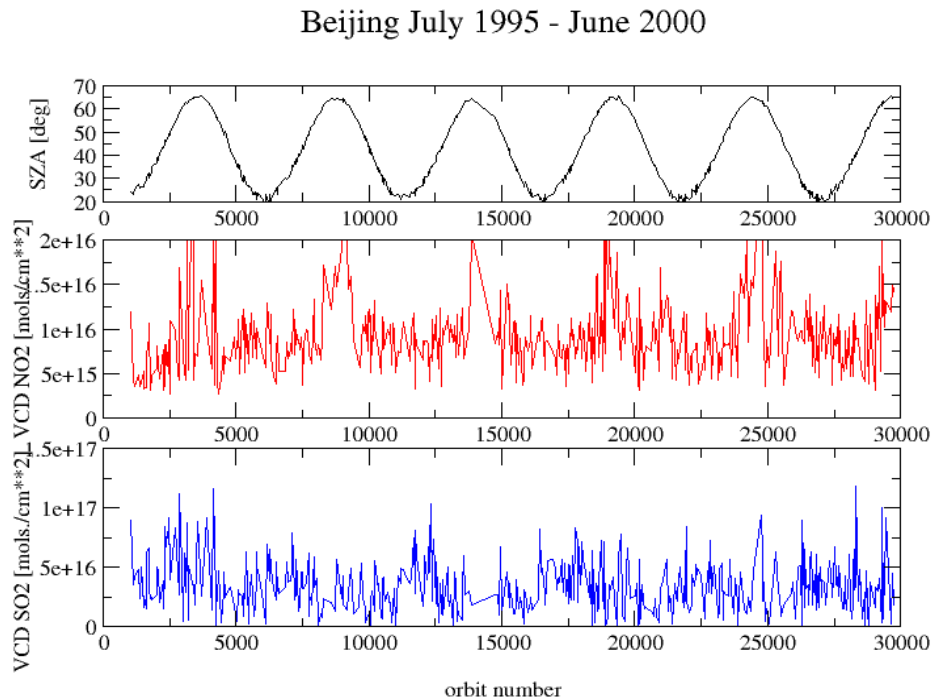


Abb. 20: Zeitreihen für  $\text{NO}_2$  (Bildmitte) und  $\text{SO}_2$  (unten), abgeleitet aus GOME-Daten im Zeitraum Juni 1995 bis Juni 2000 für das Gebiet der chinesischen Hauptstadt Peking. Der jeweils herrschende Sonnenzenitwinkel ist in der obersten Grafik gegeben.

#### 4.7 MIPAS Level-2 Offline-Prozessor

*G. Schwarz, S. Hilgers, A. Drescher, J. Steinwagner*

Bereits seit einigen Jahren wird in IMF-AP für das Instrument MIPAS auf ENVISAT in enger fachlicher Kooperation mit dem Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) in Karlsruhe ein operationell betreibbarer Level-2 Offline-Prozessor entwickelt. Dieser Prozessor leitet aus kalibrierten MIPAS-Spektren Vertikalprofile wichtiger Spurengase zusammen mit den zugehörigen Profilen für Druck und Temperatur ab. Nachdem die prinzipielle Konzeption der Prozessorsoftware bereits seit einiger Zeit konsolidiert ist, lag der Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtsjahr auf den Gebieten der Operationalisierung des Prozessors, der optimalen Parametrisierung der Prozessierung sowie der Vorbereitung der Commissioning-Phase von ENVISAT. Hierbei ging es in erster Linie darum, geeignete Parametersätze bzw. alternative Prozessierungsalgorithmen zu testen, damit während der Betriebsphase das bestmögliche MIPAS Level-2 Produkt operationell erzeugt und bereitgestellt wird.

Die Entwicklung des MIPAS Level-2 Offline-Prozessors ergänzt die Level-2 Near-Realtime (NRT)-Prozessierung, für die – koordiniert durch die ESA mit Zuarbeit durch führende europäische Fachinstitute – ein industriell codierter Prozessor entstand. Durch einen Studienvertrag ist IMF-AP in diese Entwicklung eingebunden. Somit war es möglich, den Schwerpunkt der Auslegung des Offline-Prozessors auf die Bereiche zu legen, in denen die NRT-Prozessierung mehr auf erreichbaren Durchsatz als auf erzielbare Detailgenauigkeit orientiert ist. Typische Beispiele dafür waren Verbesserungen bei der Implementierung von Offset- und Kontinuumsprofilen. Derartige Detailverbesserungen scheinen für die erreichbare Datengüte von entscheidender Bedeutung zu sein.

Die Optimierungen wurden anhand von realistischen Testdaten eines MIPAS-Ballonflugs erfolgreich verifiziert. Bei diesem Ballonflug waren die Spektren von instrumentellen Effekten verschiedenster Art beeinflusst. Durch Variieren von Parametern konnte gezeigt werden, dass die Level-2-Retrievalsoftware auch komplexe Fälle beherrscht. Damit ist die Level-2-Offlineprozessierung insbesondere auch für die

Commissioning-Phase von ENVISAT, bei der die zuverlässige Kalibrierung des Instruments im Vordergrund steht, gerüstet.

Um die Aktivitäten während der Commissioning-Phase von ENVISAT formal abzusichern, hat ESA mit zahlreichen Fachinstituten in Europa Verträge abgeschlossen, die den Status eines „Expert Support Lab“ (ESL) verleihen, um die speziell in der jeweiligen Einrichtung vorhandene Expertise für die ENVISAT-Mission zu nutzen. Für das Atmosphäreninstrument MIPAS wurde u.a. IMF-AP als ESL ausgewählt. Im Rahmen der übergeordneten Aufgabe „Support to MIPAS In-Flight Characterisation and Validation Activities“ wurde begonnen, das Arbeitspaket „MIPAS Level-2: Enhanced Simulations and Retrieval Analysis“ zu bearbeiten. Dieses beinhaltet sowohl Aktivitäten vor dem Start von ENVISAT, als auch Arbeiten während der Commissioning-Phase von MIPAS.

Zu den Arbeiten, die bereits vor dem Start von ENVISAT anfielen, gehörten im Jahr 2001 unter anderem eine Teilnahme an Tests, in welchen die Schnittstellen beim Austausch von Datenprodukten (Bestellung seitens der Nutzer, Auslieferung über vordefinierte Medien seitens ESA) verifiziert wurden. Insbesondere ist hier als zentrales Element im ENVISAT Payload Data Segment (PDS) die „User Service Facility“ zu nennen, über die der Großteil des Offline-Datenverkehrs während der Missionsphase initiiert werden soll. Daneben besteht für Produktvalidierungszwecke eine Verbindung zu NILU in Norwegen, dem Zentrum, das die Ergebnisse von Atmosphärenvergleichsmessungen verwaltet und zugänglich macht. Die Ergebnisse dieser europaweit koordinierten Tests wurden auf mehreren von der ESA organisierten Veranstaltungen ausführlich diskutiert und führten zu einer Reihe von Verbesserungen der Schnittstellen.

Zur Bewältigung dieser Aufgaben wurden die dafür benötigten Analyse-Softwarewerkzeuge spezifiziert und entwickelt. Typische Tools waren beispielsweise Softwareprogramme zur graphischen Darstellung von geschätzten und erreichten Genauigkeiten beim Retrieval von Spurengasprofilen bzw. Atmosphärenparametern. Abb. 21 zeigt hierfür ein Beispiel. Links ist die Ableitung eines vertikalen Temperaturprofils aus Referenzdaten mit einem nicht-optimalen Ansatz gezeigt. Die Verläufe (links unten) weisen eine große Abweichung zwischen den beiden Profilen auf. Die Ergebnisse im rechten Bild wurden mit einem optimierten Retrieval erzielt. Hier sind die Abweichungen drastisch verbessert, d.h. die Anpassung kommt dem simulierten Referenzprofil sehr nahe.

In Tabelle 3 sind diejenigen Aktivitäten aufgelistet, die von IMF-AP während der Commissioning-Phase bearbeitet werden sollen. Hierfür wurden mit den oben beschriebenen Arbeiten die Grundlagen gelegt.

| <b>Aufgabe</b>  | <b>Detailaspekte</b>   |
|---|--|
| Modellierung von Strahldichten mit erhöhter Genauigkeit | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Standardfälle</li> <li>- Effekte horizontaler Gradienten</li> <li>- Effekte von Schicht- und Gesichtsfeldmodellierungen</li> <li>- Effekte von Störgasen</li> </ul>           |
| Vergleich mit gemessenen Strahldichten                  | Vergleich verschiedener ausgewählter Fälle   |
| Hochgenaues Retrieval von Spurengasprofilen             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Retrieval in unterschiedlichen Klimazonen</li> <li>- Sequenzielles und paralleles Retrieval</li> <li>- Nutzung von Standard- bzw. optimierter Retrievalparameter</li> </ul>   |
| Vergleich mit MIPAS NRT-Prozessierungsergebnissen       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vergleich von Ergebnissen verschiedener Prozessoren</li> <li>- Nutzung unterschiedlicher Startwerte für Iterationen</li> </ul>  |
| Interpretation der Ergebnisse                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spezielle Eigenschaften der Daten</li> <li>- Nutzung klimatologischer Daten</li> <li>- Einfluss von Retrievalverfahren und -parametern</li> <li>- Qualitätsaspekte</li> </ul> |
| Dokumentation   | Zusammenstellung der Ergebnisse  |

Tabelle 3: Von IMF-AP übernommene Aufgaben im Rahmen des MIPAS Level 2 ESL-Auftrags

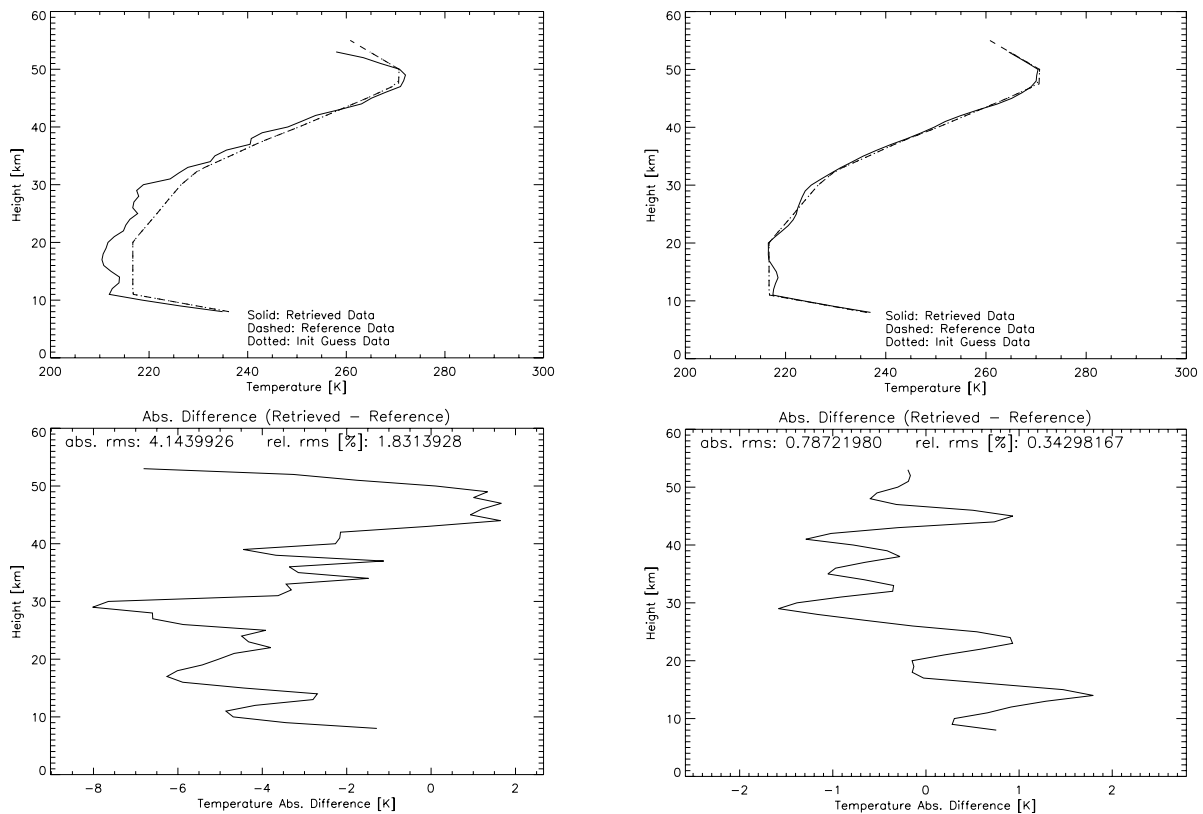


Abb. 21: Das Beispiel eines Temperaturretrievals als Testfall ohne bzw. mit Berücksichtigung horizontaler Gradienten zeigt, dass bei Vernachlässigung derartiger Effekte das ermittelte Temperaturprofil starke Abweichungen vom Referenzprofil aufweist (links), während bei Berücksichtigung von horizontalen Gradienten (rechts) das Retrievalergebnis eine weitaus bessere Güte besitzt.

## 4.8 MIPAS im ENVISAT-HGF-Vorhaben

*G. Schwarz, F. Schreier, S. Hilgers*

Das HGF-Vorhaben „Generierung und Validierung von Datenprodukten aus ENVISAT-Messungen sowie deren Nutzung zur Erforschung der oberen Troposphäre und Stratosphäre“ ist ein nationales Projekt im Rahmen des HGF-Vernetzungsfonds. In diesem Vorhaben sollen Daten und Verarbeitungsverfahren der Atmosphäreninstrumente MIPAS, SCIAMACHY und GOMOS auf ENVISAT verglichen, analysiert und interpretiert werden, um damit eine synergistische Betrachtungsweise der Erdatmosphäre zu fördern. Beteiligt sind eine Reihe von HGF- und Max-Planck-Instituten sowie Universitätseinrichtungen (Tabelle 4). Das Projekt bietet somit einen repräsentativen Querschnitt der Atmosphärenforschung in Deutschland. Eine darauf aufbauende internationale Einbettung wird zur Zeit diskutiert.

Zu den wesentlichen Zielen des HGF-Vorhabens zählen eine zuverlässige ENVISAT-Datenauswertung, eine über die vom ENVISAT-Bodensegment bereitgestellte hinausgehende verbesserte Kalibrierung/Validierung der Daten der ENVISAT-Instrumente MIPAS, GOMOS und SCIAMACHY sowie das Studium atmosphärischer Prozesse und die Validierung atmosphärischer und klimatologischer Modelle. Im Bereich atmosphärischer Prozesse werden dabei insbesondere die Dynamik und Chemie der Tropopausenregion, der horizontale Transport in der unteren Stratosphäre, Dynamik und Chemie im Polarwirbel, der oberen Stratosphäre und Mesosphäre, die Chemie in der unteren und mittleren Stratosphäre bzw. die Ozonchemie in der oberen Troposphäre untersucht.

| Zugehörigkeit           | Institut   |
|-------------------------|--|
| Helmholtz-Gesellschaft  | - IMK, Karlsruhe<br>- IAI, Karlsruhe<br>- Alfred Wegener Institut, Bremerhaven<br>- ICG, Jülich<br>- IMF und DFD, DLR<br>- Institut für Physik der Atmosphäre, DLR |
| Max-Planck-Gesellschaft | MPI für Chemie, Mainz  |
| Universitäten           | - IM, Berlin<br>- IMG, Frankfurt<br>- IU, Heidelberg<br>- IFE/IUP Bremen   |

Tabelle 4: Am HGF-Vorhaben teilnehmende nationale Institute

IMF-AP ist mit zwei Teilvorhaben an diesem Verbund beteiligt. Das Teilvorhaben B1 umfasst die Bearbeitung und Bereitstellung optimierter Retrievalmethoden für die Erzeugung von Spurengas-Vertikalprofilen aus MIPAS-Daten. Im Berichtsjahr wurde dazu mit einer Zusammenstellung typischer Referenzspektren und der Analyse ihres Informationsgehalts begonnen. Dabei werden in einer „Vorwärts“-Generierung für unterschiedliche Spurengase aus verschiedenen Spektral- und Höhenbereichen die resultierenden Strahldichten simuliert. Eine wesentliche Arbeit bestand weiterhin in der Untersuchung unterschiedlicher Retrievalverfahren, verbunden mit einer Optimierung der Parametersätze. Als besonders interessant hat sich dabei der Vergleich verschiedener Vorgehensweisen bei Regularisierungsmethoden gezeigt. Neben den rein mathematischen sowie wissenschaftlichen Aspekten der Spurengasanalyse war auch die Auslegung der Softwaretools zum Betrieb moderner Retrievalsysteme für Infrarotspektren zu beachten. Wesentliche Kriterien sind dabei vor allem der Zugriff auf Konfigurationsparameter, der wählbare Funktionsumfang sowie die Auslegung der Bedien- und Auswerteschnittstellen.

Ziel des Teilvorhabens C3 ist die Untersuchung und Anwendung neuer mathematischer Inversionsverfahren zur Verbesserung und Erweiterung der aus MIPAS-Spektren ableitbaren geophysikalischen Daten. Im Berichtsjahr wurden Verfahren basierend auf Tikhonov-Regularisierung (Optimierung mit quadratischen Nebenbedingungen) und Regularisierung durch Ungleichheitsnebenbedingungen implementiert und getestet.

#### 4.9 AMIL2DA - Advanced MIPAS Level 2 Data Analysis

*F. Schreier, A. Doicu, G. Schwarz, S. Hilgers, A. Drescher*

Das ENVISAT-Instrument MIPAS ist ein Fourier-Transform-Spektrometer, welches die von der Erdatmosphäre emittierte Infrarotstrahlung in horizontal sondierender Geometrie beobachtet und damit eine Bestimmung der vertikalen Verteilung atmosphärischer Spurengase (insbesondere Ozon, H<sub>2</sub>O, HNO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> und NO<sub>2</sub>) sowie Druck und Temperatur ermöglicht. Die Ableitung dieser geophysikalischen Parameter (Level-2-Prozessierung) erfolgt durch Optimierungsverfahren, d.h. durch Vergleich der gemessenen Spektren mit den von einem hochauflösenden Strahlungstransportmodell berechneten Spektren und der iterativen Anpassung der gesuchten Parameter.

Neben einem im Auftrag der ESA entwickelten NRT-Level-2-Prozessor wurden für die Level-2 Offline-Prozessierung u.a. am DLR, bei IROE, am IMK und der Universität Oxford weitere Prozessoren entwickelt. MIPAS-Spektren können zudem auch mit den am RAL entwickelten Programmen analysiert werden. Aufgrund von Unterschieden der verschiedenen Prozessoren (z.B. physikalische Modellannahmen und Parametrisierungen, numerische Näherungsverfahren, etc.) sind die gewonnenen Level-2 Daten nur schwer miteinander vergleichbar.

Ziel des von der EU im 5. Rahmenprogramm geförderten Projektes AMIL2DA (Advanced MIPAS-Level-2 Data Analysis) ist daher ein detaillierter Vergleich der in den Level-2 Prozessoren verwendeten

Vorwärtsmodelle und Optimierungsalgorithmen. Es ist dabei jedoch nicht beabsichtigt, einen „optimalen“ Prozessor zu finden oder einen solchen zu erstellen. Vielmehr soll durch AMIL2DA die Konsistenz und Zuverlässigkeit der gewonnenen Level-2 Ergebnisse sichergestellt werden, um so die Akzeptanz und die weitergehende Auswertung von MIPAS-Datenprodukten zu fördern. IMF-AP ist im Projekt AMIL2DA mit zwei Prozessoren vertreten, dem operationellen Offline-Prozessor sowie dem ursprünglich am Institut für Optoelektronik des DLR entwickelten Softwarepaket mit dem Vorwärtsmodell MIRART. Die Arbeiten umfassen für beide Prozessoren sowohl den Vergleich von Vorwärtsmodellen als auch den Vergleich von Retrievalergebnissen.

Vergleich von Vorwärtsmodellen: Hochauflösende „line by line“-Strahlungstransportmodelle sind ein wesentlicher Bestandteil der Level-2 Prozessoren. Sie dienen einerseits der Berechnung synthetischer Spektren (welche im Retrievalalgorithmus mit den gemessenen Spektren verglichen werden); andererseits wird auch die Berechnung der Ableitungen dieser Spektren nach den gesuchten Parametern (die sogenannten "Gewichtsfunktionen") benötigt, um die optimale Anpassung dieser Parameter zu bestimmen.

Im Rahmen des AMIL2DA-Projektes wurden 5 Vorwärtsmodelle verglichen:

- IMK, Karlsruhe („KOPRA“, auch im IMF-Offline-Prozessor integriert)
- IROE, Florenz („OFM“)
- University of Oxford („RFM“)
- IMF, früher Optoelektronik („MIRART“)
- RAL

Der Vergleich wurde in einer Reihe von Schritten durchgeführt: ausgehend vom einfachsten Fall (Transmissionsspektrum einer isolierten Spektrallinie bei Standarddruck und -temperatur) wurden in den weiteren Fällen zunehmend komplexere Szenarien gestellt bis zu Strahldichtespektren, die den bei MIPAS zu erwarteten Spektren möglichst nahe kommen. Alle zwischen den einzelnen Modellen beobachteten Unterschiede von maximal einigen Prozent konnten auf die verschiedenen Modellannahmen oder Näherungsverfahren zurückgeführt werden.

Abb. 22 zeigt den Vergleich zweier Strahldichte-Spektren (KOPRA und MIRART) unter Berücksichtigung der instrumentellen Linienprofilfunktion und des endlichen Gesichtsfeldes des Spektrometers.

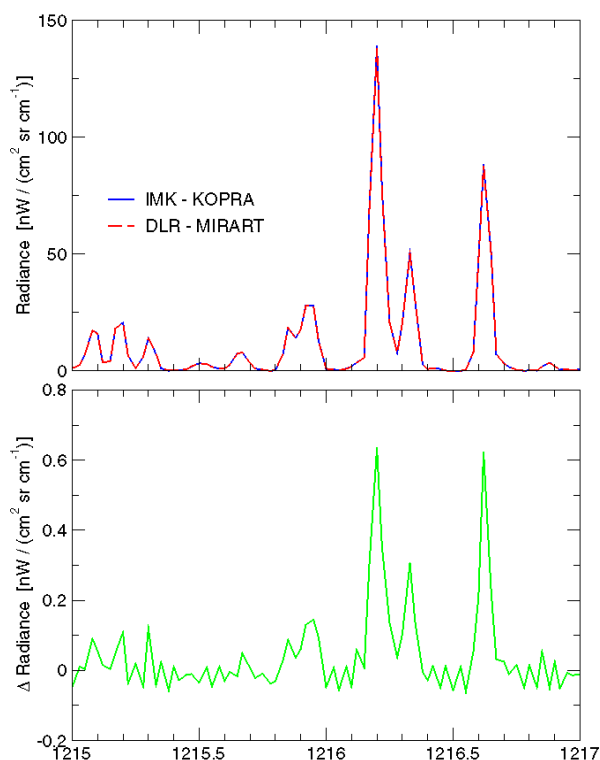


Abb. 22: Vergleich der Strahldichte-Spektren (KOPRA und MIRART) unter Berücksichtigung der instrumentellen Linienprofilfunktion und des endlichen Gesichtsfeldes des Spektrometers.

Vergleich von Retrieval-Algorithmen an simulierten MIPAS-Spektren: Auf der Basis eines realistischen Atmosphärendatensatzes (Profile von Druck, Temperatur, Konzentrationen aller atmosphärisch relevanter Gase sowie Aerosole) wurden vom IAA in Granada zwei vollständige Limb-Sequenzen von MIPAS-Spektren unter Berücksichtigung instrumenteller Effekte wie Rauschen, Offset und Pointing-Fehler simuliert.

Das Ziel dieses „Blind-Test-Retrievals“ bestand darin, die Fähigkeit der von den beteiligten Gruppen erstellten Level-2 Prozessoren zu testen, indem der Zustand der Atmosphäre aus den Spektraldaten zu rekonstruieren war. Trotz der Unterschiede in den benutzten Auswertalgorithmen (Regularisierungsmethode, spektrale Microwindows, Diskretisierung usw. sowie Parametrisierungen und Näherungen des verwendeten Vorwärtsmodells) ergab der Vergleich der retrieveden Profile (Ozon, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, Temperatur etc.) mit den wahren Profilen insgesamt eine sehr gute Übereinstimmung.

In Abb. 23 werden die mit den beiden in IMF-AP verfügbaren Prozessoren bestimmten Ozon-Profile mit dem Referenzprofil verglichen.

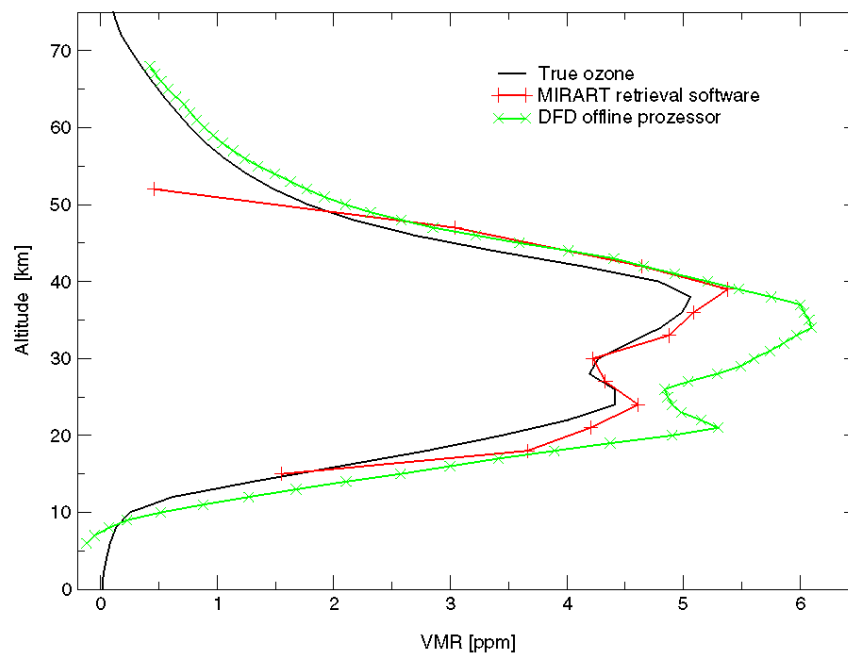


Abb: 23: Vergleich von retrieveden Ozon-Profilen mit dem zugrunde liegenden Referenzprofil

#### 4.10 Algorithmenentwicklung für FOCUS-Datenfusion

*M. Heß, F. Schreier*

FOCUS ist als permanent auf der Internationalen Raumstation installierter Sensor zur Entdeckung und Analyse von Hochtemperaturereignissen (HTE) geplant. HTE wie z.B. Vegetationsfeuer oder Vulkaneruptionen stellen eine ernsthafte Bedrohung menschlicher Sicherheit und Gesundheit dar. Außerdem können sie durch die Emission großer Mengen an Gasen und Rauchaerosolen das Klima signifikant beeinflussen. Eine globale Entdeckung und Überwachung von HTE ist deshalb von großer Bedeutung, ebenso wie eine eingehende Analyse ihrer Auswirkungen auf das Klima. Bisherige satellitengestützte Messgeräte sind nur in der Lage, den Ort eines HTE festzustellen. Nur in wenigen Fällen gelingt es auch, Temperatur und räumliche Ausdehnung zu bestimmen. Eine detaillierte Analyse von Temperaturprofilen und emittierten Gas- und Partikelmengen wird erst mit FOCUS oder einem vergleichbaren Instrument möglich sein. Ein Prototyp von FOCUS wird derzeit in eine DO 228 des DLR eingebaut und soll im nächsten Jahr bei Überfliegungen des Ätna eingesetzt werden.

Das Instrument besteht aus 3 Sensoren, von denen einer (Vorfeldsensor) der Feuererkennung dient, während die beiden anderen die quantitative Analyse von räumlicher Ausdehnung, Temperatur sowie Gas- und Rauchemission der gefundenen HTE ermöglicht. Es handelt sich dabei um ein bildgebendes Spektrometer mit 4 Kanälen (nahes, mittleres und thermisches Infrarot, ergänzt durch den sichtbaren

Spektralbereich) und um ein Infrarot-Fourierspektrometer. Die Auswertung der Daten dieser beiden Sensoren ist Gegenstand der Studie in IMF-AP. Das Fourierspektrometer wird benutzt, um Höhenprofile der Temperaturverteilung und der Konzentrationen emittierter Gase zu bestimmen. Es besitzt ein relativ ausgedehntes Gesichtsfeld, was zur Folge hat, dass die gemessenen hochaufgelösten Spektren eine Mischung aus Beiträgen von Feuer, Rauch und ungestörtem Hintergrund sind. Das bildgebende Spektrometer liefert im Gegensatz dazu räumlich hochaufgelöste Daten, aus denen Flächenanteile von Feuer und Hintergrund und die zugehörigen Bodentemperaturen innerhalb des Gesichtsfeldes des Fourierspektrometers abgeleitet werden können. Mit Hilfe dieser Zusatzinformationen lassen sich die gesuchten Höhenprofile über dem HTE aus dem Mischspektrum ableiten.

Ziel der Arbeiten in IMF-AP ist die Untersuchung und Verbesserung der Auswertealgorithmen, welche als Ergebnis der FOCUS Phase-A-Studie vorliegen. Sie werden in Zusammenarbeit mit der Organisationseinheit EV des IMF und mit dem Institut für Weltraumsensorik des DLR durchgeführt. Im Jahr 2001 wurden Fortschritte in folgenden Bereichen erzielt:

- Definition von typischen (generischen) Szenarien bei Wald- und Savannenbränden sowie von Vulkanemissionen zur Simulation von Messungen für Tests des Retrievalverfahrens.
- Entwicklung der Algorithmen zur Klassifizierung von heißen und ungestörten Oberflächen, Rauch und Wolken sowie zur Bestimmung ihrer Temperatur, einschließlich des Flächenanteils aus Daten des bildgebenden Spektrometers innerhalb des FOV des Fourierspektrometers.
- Entwicklung und Test des neuen Retrievalalgorithmus zur Datenfusion unter Berücksichtigung der räumlich hochaufgelösten Zusatzinformationen. Dazu müssen existierende Programme für Strahlungstransport und Retrievalmethodik verbessert, angepasst und kombiniert werden. Für Tests des Verfahrens werden anschließend die definierten generischen Feuer- und Vulkanszenarien verwendet. Als Strahlungstransportmodell wird das Vorwärtsmodell MIRART verwendet. Im Rahmen dieser Aktivitäten wird Einfachstreuung an Rußaerosolen in das bereits erprobte Modell eingebaut. Änderungen des Spektrums aufgrund veränderter Eingangsparameter werden außerdem nicht mehr numerisch sondern automatisch berechnet.

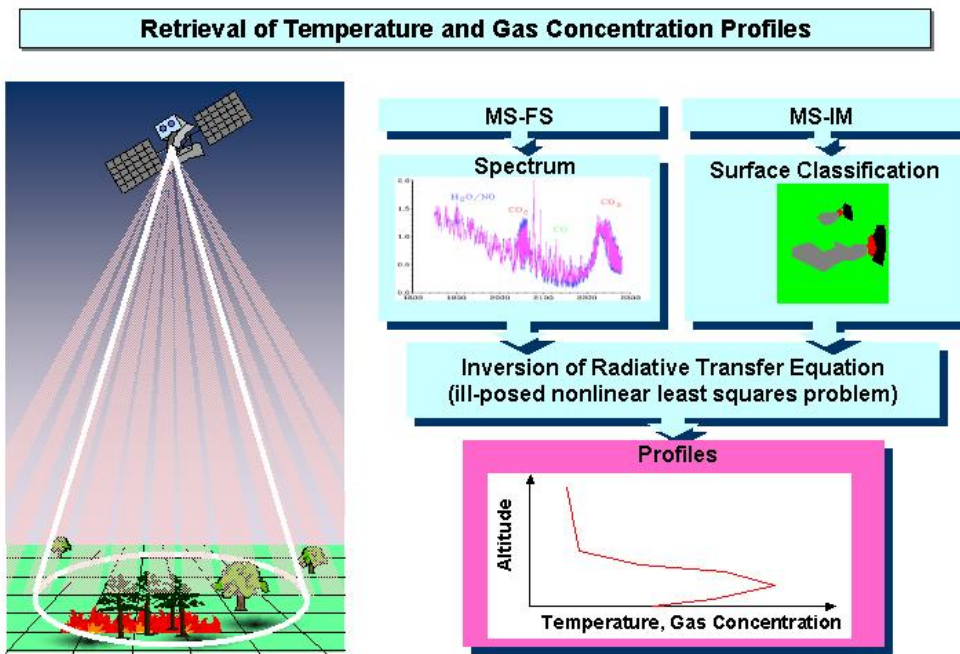


Abb. 24: Ableitung der Temperatur und der Gaskonzentration mit FOCUS bei Hochtemperaturreignissen



## 4.11 Strahlungstransfer mit anisotrop reflektierendem Untergrund

*U. Böttger*

Methan ( $\text{CH}_4$ ) ist ein bedeutendes Treibhausgas. Boreale Feuchtgebiete, z.B. Tundren, gelten als starke Methanquellen. Die räumliche Ausdehnung von borealen Feuchtgebieten ist jedoch kaum bekannt. So können sich Abschätzungen ihrer Ausdehnung bis zum 7-fachen unterscheiden. Daraus resultieren erhebliche Ungenauigkeiten in der Bestimmung der Energie- und Kohlenstoffbilanz der Ökosysteme unseres Planeten, was letztendlich die Genauigkeit der Vorhersagen zur Entwicklung des Klimas verschlechtert.

Optische Fernerkundungstechnologie wird in großräumigen Gebieten verwendet, um Areale zu identifizieren, die als Methanquellen in Frage kommen. Diese sollen eindeutig von solchen unterschieden werden, die kein Methan produzieren. In Zusammenarbeit mit der Earth Science Division von NASA Ames (V. Vanderbilt) wird in IMF-AP untersucht, wie sich diese Klassifizierung verbessern lässt. Insbesondere soll dabei der im Vergleich zur skalaren Intensität durch den Stokesvektor vollständig beschriebene Zustand der Strahlung, die in Richtung Satellitensensor gestreut wird, berücksichtigt werden, um so eine bessere Unterscheidung zwischen überfluteten und nicht überfluteten Szenen zu erhalten.

Der Ansatz für eine solche Unterscheidung beruht auf den spiegelreflektierenden Eigenschaften von Wasseroberflächen. Dabei sind verschiedene Konfigurationen zu betrachten: überflutetes Land mit aus dem Wasser herauswachsender Vegetation, offenes Wasser ohne Vegetation sowie nicht überflutete Landoberflächen. Um optische Fernerkundungsmethoden anwenden zu können, müssen einige Annahmen gemacht werden. Erstens liefert die visuell blendende Sonnenreflexion an Wasseroberflächen eine stark winkelabhängige Signatur, die charakteristisch für überflutete, Methan produzierende Untergründe ist. Zweitens zeigen überflutete Feuchtgebiete und offenes Wasser unterschiedliche, wind- und winkelabhängige Reflexionssignaturen. Drittens erlaubt die Analyse von Fernerkundungsdaten, die neben und in Spiegelreflexionsrichtung aufgenommen werden, eine genaue Diskriminierung von Methan produzierenden Gebieten (überflutete Feuchtgebieten, d.h. Areale mit hohem Methan-Austausch), offenem Wasser (geringer Methan-Austausch) und nicht überfluteten (keine Methan-Emission) Bodentypen.

Es existieren mathematische Modelle zum besseren Verständnis der Streu- und Polarisations-eigenschaften der Atmosphäre, der Wasseroberfläche und der Vegetation. Jedoch gibt es gegenwärtig kein Modell, welches die Intensität der messbaren gestreuten Strahlung und ihren Polarisationszustand über einer Szene vorhersagt, die aus einem von einer Atmosphäre überlagerten Gebiet besteht, welches sowohl überflutete als auch nicht überflutete Regionen enthält. Vor allem gelingt es nur unzureichend, den nicht vernachlässigbaren Einfluss der Atmosphäre in solchen Szenen abzuschätzen. Dieser Einfluss der Atmosphäre ist aber abhängig vom Typus der darunterliegenden Oberfläche. Ein „Entmischen“ von überfluteten und nicht überfluteten Szenen verlangt deshalb eine realistische Einbeziehung der Atmosphären-effekte. Das Problem besteht nun in der Kopplung der Atmosphäre mit einem nicht in einen Strahlungstransport der bisherigen Art einbaubaren Untergrund, der aus einer sehr komplexen Reflexionsfunktion besteht. Das im Rahmen des Projektes erstellte Strahlungstransportmodell kombiniert unterschiedliche Atmosphären mit verschiedenen Untergrundtypen, um den Einfluss der Atmosphäre abzuschätzen.

Abb. 25 erläutert am Beispiel einer windbewegten Wasseroberfläche, welche erwarteten Intensitäten (oben) und Polarisation (unten) sich am Oberrand der Atmosphäre ergeben. Die dunkleren Flächen in der Darstellung entsprechen kleineren, hellere Flächen größeren Werten von Intensität bzw. Polarisationsgrad (reinweiße Bereiche sind Nullpunkte). Als anisotroper Untergrund ist dabei exemplarisch eine windbewegte Wasseroberfläche mit einer angenommenen Windgeschwindigkeit von 2m/s verwendet worden. Auf der linken Seite sieht man die Ergebnisse für eine sehr dünne Rayleigh-Atmosphäre über einer windbewegten Wasseroberfläche. Dies entspricht in etwa den bisher verwendeten Modellen zur Unterscheidung von überflutetem und nicht überflutetem Untergrund. Die rechte Seite berücksichtigt zusätzlich Aerosol. Es wird deutlich, daß eine realistische Atmosphärenkorrektur zur Klassifizierung des darunterliegenden Untergrunds unabdingbar ist.

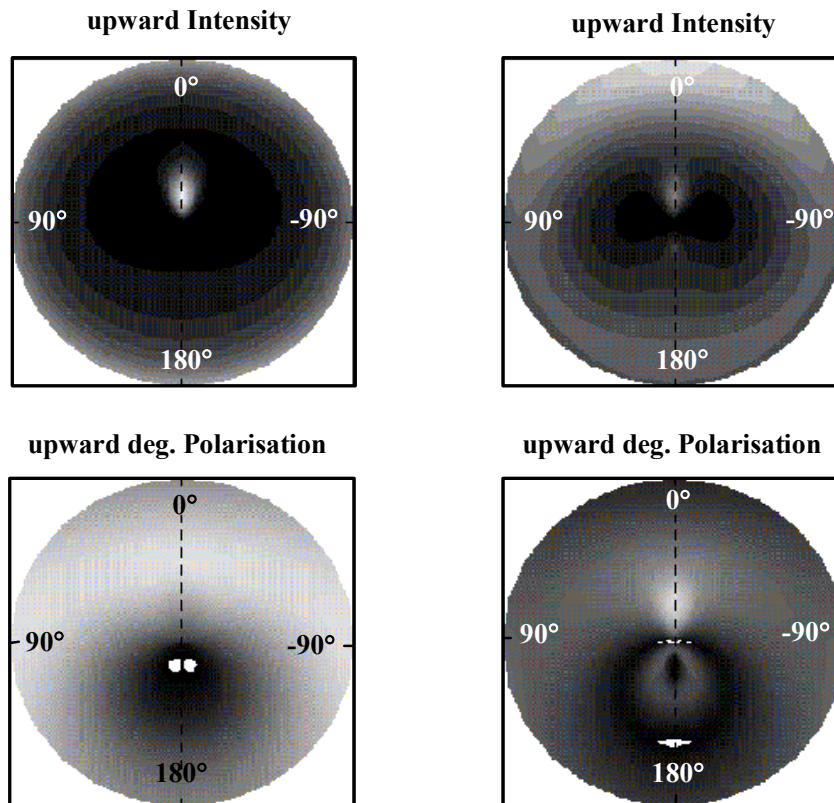


Abb. 25: Azimutdarstellung der am Oberrand der Atmosphäre erwarteten Intensität (oben) bzw. Polarisation (unten) über einer windbewegten Wasseroberfläche. Links ist eine dünne Rayleigh-Atmosphäre modelliert, rechts zusätzlich Aerosol.

#### 4.12 Virtuelles Streu- und Strahlungstransferlabor

*T. Ernst, T. Rother, J. Wauer, F. Schreier, U. Böttger, K. Schmidt*

Am DLR wie auch anderen Forschungseinrichtungen werden jedes Jahr beträchtliche Aufwendungen in die Entwicklung fachspezifischer Software investiert. Derartige Programme, insbesondere wenn sie allgemeingültige Modelle – z.B. physikalische Prozesse implementieren, sind häufig nicht nur im unmittelbaren Zusammenhang ihres Entstehungsprojekts anwendbar, sondern eignen sich häufig auch zur Lösung von Problemen in ganz anderen Bereichen. Tatsächlich wird dieses Anwendungspotential jedoch nur zu geringen Teilen genutzt, denn der Weg von der Forschung zur Anwendung ist meist beschwerlich. Wissenschaftliche Software-Prototypen in eigenständige, beim Nutzer installierbare Produkte zu überführen, ist kostenaufwendig und risikoreich und liegt überdies außerhalb des „Kerngeschäfts“ einer Forschungseinrichtung.

Mit dem Siegeszug des Internet ergab sich die Alternative, „den Nutzer zum Programm zu bringen“, d.h. nur die Daten und die Ausgabe beim Anwender, die gesamte Programmausführung und Datenhaltung aber auf der Serverseite vorzunehmen. Beim Nutzer sind damit keinerlei Einstiegsinvestitionen in Hard- oder Basissoftware mehr nötig - ein Standard-PC mit Internetzugang genügt, welcher heute bei potentiellen Anwendern wissenschaftlicher Software vorausgesetzt werden kann. Aber auch für die Bereitstellung der Programme ergeben sich Vereinfachungen, da sie nur noch auf einer Serverplattform lauffähig sein müssen; aufwendiges Entwickeln für mehrere Kundenplattformen entfällt.

Obwohl auf den ersten Blick sehr attraktiv, hat sich dieser neue Technologietransferkanal für wissenschaftliche Software bisher nicht in erkennbarer Breite durchgesetzt. Das Problem besteht darin, dass auf diesem Weg anzubietende Programme natürlich zuerst „ins Internet gebracht“ werden müssen, d.h., sie sind mit geeigneten Anbindungen und web-fähigen Nutzerschnittstellen auszurüsten. Dies ist beim derzeitigen Stand der Technik aber im allgemeinen ebenfalls sehr aufwendig. Online-nutzbare Versionen wissenschaftlicher Programme entstehen daher nur sporadisch im Rahmen von besonders gut

ausgestatteten Projekten oder durch besonderes Engagement einzelner Entwickler. Für den potentiellen Anwender sind diese „Insellösungen“ insgesamt aber nur mäßig attraktiv: Unter ihnen existiert keine Vereinheitlichung und keine Interoperabilität, oft sind keine oder nur unzureichende Dokumentationen vorhanden und es ist schwierig, für eine gegebene Problemstellung eventuell geeignete online-verfügbare Modelle überhaupt aufzufinden.

In IMF-AP wurde deshalb ein Projekt mit dem Ziel initiiert, eine übergreifend anwendbare Soft- und Hardwareinfrastruktur zu entwickeln, mittels welcher Simulationsmodelle und andere wissenschaftliche Programme unter geringem Aufwand zur direkten Online-Nutzung im Internet verfügbar gemacht werden können. Beispielhaft soll in einem ersten Schritt eine Auswahl von am DLR entwickelten Simulationsmodellen aus den Gebieten „Streuung“ und „Strahlungstransport“ auf diese Weise angeboten werden.

Das Projekt basiert auf dem Konzept des *universellen Virtuellen Labors (VL)*, das die eingangs beschriebenen Probleme beheben soll. Die Integration der einzelnen Programme in den gemeinsamen Rahmen des VL ermöglicht einerseits eine drastische Aufwandssenkung für den Entwickler und andererseits vereinheitlichte Nutzerschnittstellen und Dokumentationen. Auch verbesserte Interoperabilität ist auf dieser Basis möglich, da mehrere Programme, zu „virtuellen Versuchsaufbauten“ gekoppelt, ablaufen können. All diese Angebote werden den Anwendern in Form einer leicht bedienbaren Portal-Website mit Suchfunktion, Nutzerforum und elektronischer Bewertung zugänglich gemacht. Jeder Nutzer erhält einen persönlichen Arbeitsbereich, in welchem seine Experimente (Simulationsläufe) mit allen Ein- und Ausgabedaten sowie sonstige relevante Informationen archiviert werden. Die VL-Infrastruktur wird komplettiert durch Programme zur Unterstützung des Integrationsprozesses. Bei der Integration von Programmen in den VL-Rahmen wird ein vollständiger „blackbox-Modus“ angestrebt: Die zu integrierende Software soll keinerlei internen Änderungen unterzogen werden. Die Programmkonfiguration wird mit geringfügigen Zusätzen so übernommen, wie sie beim Autor im Zuge seiner wissenschaftlichen Arbeit entstanden ist.

Aufbauend auf den Ergebnissen einer Machbarkeitsstudie, die im Vorfeld als Kooperationsvorhaben mit GMD-FIRST (jetzt FhG-FIRST) durchgeführt wurde, stand im Jahr 2001 der Aufbau der Kernkomponenten der VL-Infrastruktur in einer Basisversion im Mittelpunkt, welche die DLR-interne sowie erste externe Nutzungen erlauben sollte. Im Ergebnis dieser Arbeit steht ein bereits jetzt sehr leistungsfähiges System zur Verfügung. Die wichtigsten heute verfügbaren Merkmale sind:

*Blackbox-Integration von Kommandozeilen-Applikationen:* Kommandozeilenbasierte Programme, wie sie gerade im Bereich der Modellierung und Simulation im Vordergrund stehen, können ohne jeden Eingriff in interne Strukturen und Inhalte integriert werden. Indem lediglich Beschreibungsskripte und Dokumentations-Textbausteine hinzugefügt werden, erhält ein vorher nur von Eingeweihten nutzbares Programm eine intuitive web-basierte Nutzeroberfläche und kann potentiell weltweit von jedem PC mit Internetanbindung aus benutzt werden.

*Web-Portal:* Unter <http://vl.nz.dlr.de> (bisher nur aus der Domain dlr.de zugreifbar) steht dem Anwender die im Aufbau befindliche Portal-Website des Virtuellen Labors des DLR zur Verfügung. Von hier aus kann der Nutzer sich über die verfügbaren Programme informieren, diese (wie bei einer Suchmaschine) gezielt auffinden und in seinen passwortgeschützten persönlichen VL-Arbeitsbereich eintreten, um Simulationsexperimente durchzuführen und zur späteren Verwendung zu archivieren.

*Dokumentationsintegration und –unterstützung:* Während der Dateneingabe kann der Nutzer für jedes Programm auf eine VL-weit einheitlich strukturierte Dokumentation zugreifen. Von der Web-Nutzerschnittstelle führen Hyperlinks direkt zu den entsprechenden Stellen der Dokumentation, so dass sich der Nutzer im Sinne einer Online-Hilfe z.B. über die genauere Bedeutung eines gerade einzugebenden Wertes informieren kann. Auch dem Autor wird es leicht gemacht diese Dokumentation zu erstellen: er erhält ein aus den ohnehin vorhandenen Beschreibungsdateien automatisch erzeugtes, bereits auf sein Programm zugeschnittenes „Skelett“ der Dokumentation in einem Format seiner Wahl (derzeit unterstützt: LaTeX, MS-Word, FrameMaker, StarOffice, LyX; potentiell kann jedes Textsystem unterstützt werden, welches mindestens ein dokumentiertes Importformat hat und HTML exportieren kann), das dann nur noch mit Textbausteinen ausgefüllt wird. Teile der so eingesetzten Information werden später wieder automatisch extrahiert und bilden als Metadaten die Basis z.B. für das Auffinden von im VL verfügbaren fachspezifischen Programmen über eine Schlüsselwortsuche.

Dedizierter VL-Cluster: Ein komplexer web-basierter Dienst wie das VL erfordert eine entsprechend leistungsfähige Systembasis. Am DLR-Standort Neustrelitz wurde speziell für das VL ein leistungsfähiger Cluster aus Linux- und Solarisplattformen aufgebaut, der aus Firewall, Name- und Fileserver, Portalserver sowie einer Anzahl von „Rechenknoten“ besteht, auf welche die Simulationsläufe verteilt werden. Durch geeignete Auswahl der Hard- und Systemsoftware wurde ein hoher Grad an Redundanz und Verlässlichkeit erreicht. Im Interesse der Datensicherheit liegt die low-level-Administration in den Händen einer kompetenten Partnerfirma.

Beispielhafte Integration fachspezifischer Software: Eine Anzahl bei IMF-AP entwickelter Programme aus den Gebieten „Lichtstreuung“ und „Strahlungstransport“ wurde, einschließlich der zugehörigen Dokumentation, in das VL integriert und sind zur Online-Nutzung verfügbar.

Integration von grafischen Applikationen: Die Machbarkeit der blackbox-Integration auch von wissenschaftlicher Software mit eigener grafischer Oberfläche wurde mit einer Demonstration belegt. Eine praxistaugliche Implementierung dieser Lösung im VL ist für das Jahr 2002 vorgesehen.

#### 4.13 CLOUDMAP-2 - Cloud Mapping Project

T. Rother, K. Schmidt

Zirruswolken spielen eine wichtige Rolle im Klimasystem der Erde. In Abhängigkeit von ihren mikrophysikalischen Eigenschaften können sie zu einer Abkühlung oder Aufheizung der Atmosphäre beitragen. Ein wesentliches Ziel des Projektes CLOUDMAP-2 ist deshalb die verbesserte Bestimmung der Mikrophysik von Zirren aus Fernerkundungsdaten, insbesondere des Sensors MODIS.

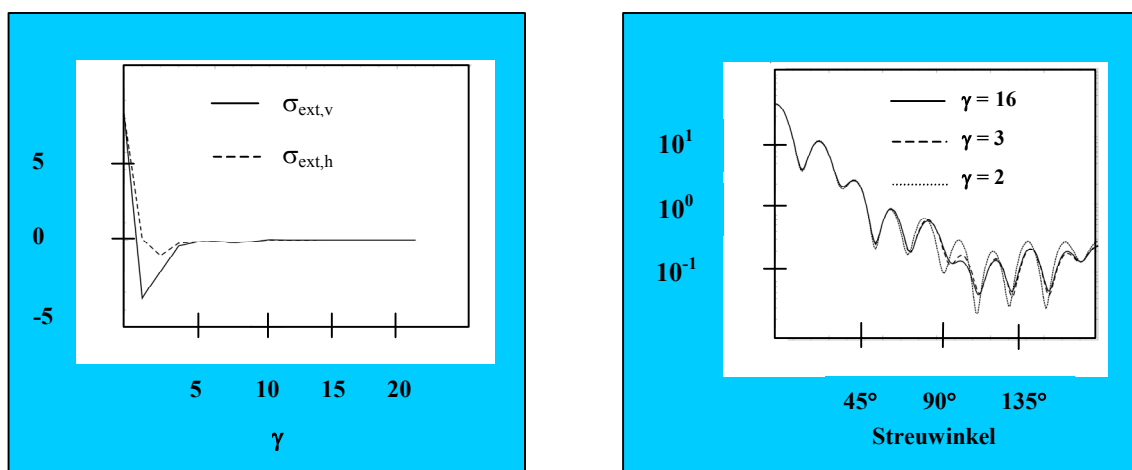


Abb. 26: Der relative Fehler in den horizontal (Index „h“) und vertikal (Index „v“) polarisierten Extinktionsquerschnitten (linkes Bild) und in der Phasenfunktion (rechtes Bild) für eine unterschiedliche Anzahl  $\gamma$  von unteren und oberen Nebendiagonalelementen der charakteristischen Koeffizientenmatrix eines hexagonalen Eisteilchens. Die Zylinderlänge des Hexagons beträgt  $10 \mu\text{m}$ , die Wellenlänge ist  $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ , und die Brechzahl besitzt einen Wert von  $n = 1.313 + j 1.91 \cdot 10^{-9}$ .

Das Streuverhalten von Eisteilchen, wichtige Bestandteile von Zirruswolken, unterscheidet sich beträchtlich von dem sphärischer Wassertröpfchen. Bisher existieren jedoch nur wenige Methoden die es gestatten, das Streuverhalten dieser Eispartikel in Größenparameterbereichen zu analysieren, in denen Verfahren der Geometrischen Optik noch nicht anwendbar sind.

Die von uns entwickelte Verallgemeinerung der Methode der Separation der Variablen führt auf die folgende Beziehung für die unbekanntenen Entwicklungskoeffizienten  $\vec{x}$  des Streufeldes:

$$\vec{A} \cdot \vec{x} = \vec{b}$$

$\vec{b}$  bezeichnet den Vektor der Entwicklungskoeffizienten des als bekannt vorausgesetzten einfallenden Feldes, und  $\vec{A}$  ist eine das streuende Teilchen charakterisierende Koeffizientenmatrix. Diese Matrix besitzt eine  $4 \times 4$  Blockmatrixstruktur, wobei 4 dieser Blockmatrizen identisch verschwinden. Die nichtverschwindenden Blockmatrizen weisen aufgrund der Geometrie des hexagonalen Teilchens Strukturen auf, die es gestatten, eine Streulichtanalyse auch bei hohen Größenparametern von etwa „100“

vorzunehmen (vgl. Abb. 27). Damit gelangt man bis in den Gültigkeitsbereich der Geometrischen Optik. Ein entsprechendes Programm für die Streulichtanalyse steht im „Virtuellen Labor“ zur Verfügung und wird im Rahmen des CLOUDMAP-2 Projektes für das Retrieval der Phasenfunktionen von Zirruswolken genutzt.

$$\begin{array}{c}
 \gamma = 0 \qquad \qquad \qquad \gamma = -1 \\
 \left( \begin{array}{cccccccc}
 Z_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{17} & 0 & \dots \\
 0 & Z_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{28} & 0 & \dots \\
 0 & 0 & Z_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{39} & 0 & \dots \\
 0 & 0 & 0 & Z_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{410} & 0 & \dots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{55} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{511} & 0 & \dots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{66} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{612} & 0 & \dots \\
 Z_{71} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{77} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{713} & 0 & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Abb. 27: Struktur einer Blockmatrix der charakteristischen Koeffizientenmatrix für ein hexagonales Eisteilchen. Als Konvergenzparameter wird die Anzahl  $\gamma$  der nicht verschwindenden unteren und oberen Nebendiagonalelemente eingeführt. Im Grenzfall des kreisförmigen Zylinders bleibt nur die Hauptdiagonale übrig.

#### 4.14 Einfluß der Orientierung von Eiskristallen auf das Strahlungsfeld von Zirren

*M. Heß*

Die Strahlungswirkung von Eiskristallen wird im solaren Spektralbereich vor allem durch ihre Phasenfunktion bestimmt, die ihrerseits von Größe, Form und Orientierung der Kristalle abhängt. Große Eiskristalle, z. B. hexagonale Eissäulen ab einer Länge von etwa 300  $\mu\text{m}$ , sind generell so orientiert, dass ihre lange Achse in einer horizontalen Ebene liegt. Innerhalb dieser Ebene haben sie jedoch keine Vorzugsausrichtung. Die Phasenfunktionen solch horizontal orientierter Kristalle hängen nicht nur vom Streuwinkel ab, wie es bei kugelförmigen oder räumlich zufällig orientierten nichtkugelförmigen Teilchen der Fall ist, sondern zusätzlich vom Streuazimutwinkel und vom Winkel, unter dem die Strahlung auf die horizontale Fläche einfällt. Die Abhängigkeit der Phasenfunktion von diesen beiden zusätzlichen Winkeln kann in den üblicherweise verwendeten Strahlungstransportprogrammen nicht berücksichtigt werden und lässt sich dort auch nur unter großem Aufwand einführen. Aus diesem Grund werden alle Strahlungstransportrechnungen für Zirren, falls überhaupt nichtkugelförmige Eiskristalle verwendet werden, mit räumlich zufällig orientierten Kristallen durchgeführt. Eine Abschätzung des resultierenden Fehlers existiert bisher nicht. Es gibt aber nach wie vor eine Reihe ungeklärter Diskrepanzen beim Vergleich gemessener und modellierter Strahlungseigenschaften von Zirren. Die vernachlässigte Orientierung der Kristalle könnte einer der Gründe für diese Unterschiede sein.

Ziel der hier beschriebenen Untersuchungen in IMF-AP ist eine quantitative Abschätzung des Fehlers, der durch die Annahme räumlich zufällig orientierter, anstelle horizontal orientierter hexagonaler Eiskristalle in Strahlungstransportrechnungen hervorgerufen wird. Von der Größe dieses Fehlers hängt es ab, ob die Orientierung der Kristalle, die bisher auf Grund des numerischen Aufwands in solchen Rechnungen generell vernachlässigt wird, zukünftig doch berücksichtigt werden sollte.

Der einzige Typ von Strahlungstransportprogrammen, bei dem es möglich ist, derartige Phasenfunktionen ohne größere Schwierigkeiten einzubauen, sind Monte Carlo Programme. Deshalb wurde für diese Studie ein ansonsten einfaches Monte Carlo Modell verwendet. Das Modell berücksichtigt zwei homogene Atmosphärenschichten und einen isotrop reflektierenden Untergrund. In die obere Schicht wird ein Zirrus eingesetzt; die untere Schicht enthält Aerosole oder zusätzlich eine Wasserwolke. Die Zirruschicht kann entweder aus räumlich zufällig bzw. aus horizontal orientierten Kristallen bestehen.

Mit Hilfe dieses Programms konnten Strahldichteverteilungen und Strahlungsflüsse am Boden und am Oberrand der Atmosphäre berechnet werden. Für die Sensitivitätsstudie wurden jeweils Rechnungen für räumlich zufällig und für horizontal orientierte Kristalle in der Zirruschicht bei ansonsten identischen Bedingungen durchgeführt und anschließend die prozentualen Abweichungen der beiden Rechnungen

bestimmt. Derartige Rechnungen können für alle typischerweise vorkommenden optischen Dicken von Zirrus und Aerosol, Eiskristall-Größenverteilungen und Sonnenzenitwinkel durchgeführt werden.

Erste Ergebnisse einer solchen Rechnung zeigt Abb. 28. Für eine Sonnenhöhe von  $30^\circ$  (Sonne steht an der Stelle des roten Flecks in der linken Spalte) und optische Dicken von Zirrus ( $\tau_c$ ) und Aerosol ( $\tau_a$ ) von 0.5 bzw. 0.1 sind die Strahldichteverteilungen am Boden (bottom) und am Oberrand der Atmosphäre (TOA) für räumlich zufällig (3D) bzw. horizontal (2D) orientierte Kristalle gezeigt (die höchste Intensität ist rot, die niedrigste violett dargestellt). In der dritten Zeile ist die prozentuale Abweichung zwischen den Rechnungen abgebildet. Grüntöne stehen für  $\pm 20\%$ , gelb und blau für größere Abweichungen.

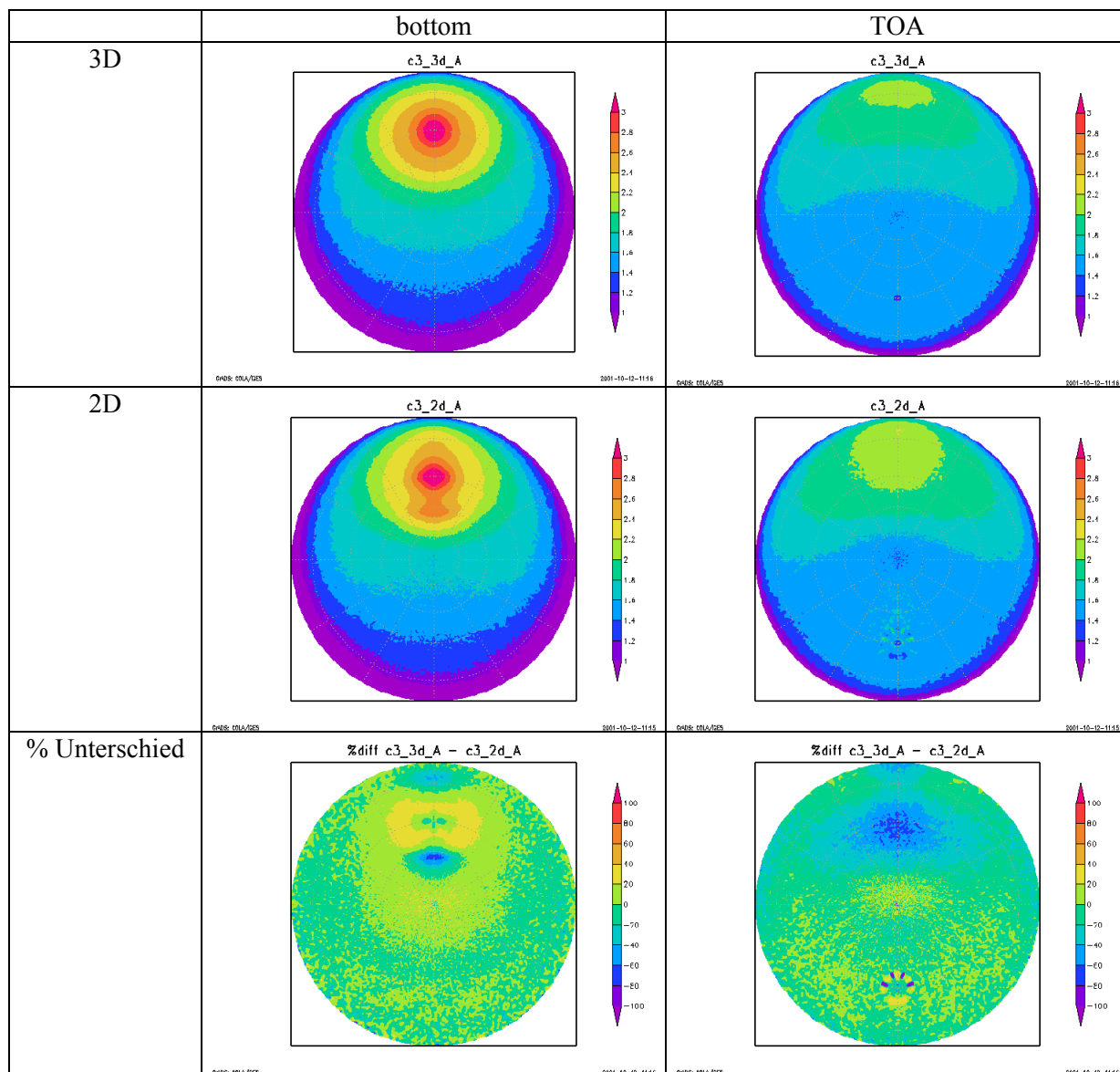


Abb. 28: Strahldichteverteilung am Boden (links) und Obergrenze der Atmosphäre (rechts) bei zufällig räumlich verteilten (3D) sowie horizontal angeordneten (2D) Eiskristallen. Der Horizont befindet sich in diesen Darstellungen am äußeren Rand, Zenit im Mittelpunkt der Kreise.

#### **4.15 UPAS - Unified Processor for Atmospheric Spectrometers**

*W. Thomas, D. Huber, D. Loyola, F. Schreier, G. Schwarz*

Die Verarbeitung der Daten atmosphärischer Spektrometer lässt sich sowohl mit maßgeschneiderten Prozessoren als auch mit einer universell einsetzbaren Prozessorumgebung bewältigen. Erstere Lösung ist mit erhöhtem Personal-, Entwicklungs-, und Wartungsaufwand, vor allem während der Betriebsphase, verbunden. Der zweite Ansatz führt zwar zu einem komplexeren Prozessor, dessen Entwicklung im Verlauf der Definitions- und Designphase zunächst mehr Ressourcen benötigen kann. Ein großer Vorteil eines generalisierten Systems ist jedoch die Vermeidung von Doppelarbeit im algorithmischen Bereich und bei der Implementierung neuer Funktionalität.

In einer 6-tägigen Seminarreihe wurden – beginnend mit der Beschreibung der physikalischen Probleme, über die Vorstellung aktueller Systeme und einer Bestandsaufnahme verfügbarer Datenbasen und Algorithmen hin zu einem Anforderungskatalog – gemeinsam die Grundlagen für ein universelles System erarbeitet. Hieran schließt sich nun die Erstellung eines „User Requirements Document“ (URD) an, was im ersten Quartal 2002 erfolgen wird.

Ziel ist es, eine Arbeitsumgebung zu schaffen, die von den verschiedenen Arbeitsgruppen in der Organisationseinheit AP gleichermaßen benutzt werden kann. Die Entwicklung operationeller Systeme soll hiermit ebenso möglich sein, wie die Erstellung von Studien und die Arbeit an grundlegenden Problemen der satellitengestützten Fernerkundung der Atmosphäre.

## 5. Veröffentlichungen, Vorträge und Tagungen

### 5.1 Zeitschriftenartikel

Doicu A., Eremin Y. and Wriedt T.: Scattering of evanescent waves by a particle on or near a plane surface, *Comput. Phys. Commun.* 134, 1-10, 2001

Doicu A., Eremin Y. and Wriedt T.: Scattering of evanescent waves by a sensor tip near a plan surface, *Opt. Commun.* 190, 5-12, 2001

Doicu A. and Wriedt T.: Null-field method with discrete sources to electromagnetic scattering from composite objects, *Opt. Commun.* 190, 13-17, 2001

Doicu A. and Wriedt T.: Null-field method with discrete sources to electromagnetic scattering from layered structures, *Comput. Phys. Commun.* 138, 136-142, 2001

Doicu A. and Wriedt T.: T-matrix method for electromagnetic scattering from scatterers with complex structure, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 70, 663-673, 2001

Doicu A. and Wriedt T.: Equivalent refractive index of a sphere with multiple spherical inclusions, *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 3, 204-209, 2001

Rother T., Schmidt K., und Havemann S.: Light Scattering on Hexagonal Ice Columns, *J. Opt. Soc. Am. A*, 18, pp. 2512-2517, 2001

### 5.2 Proceedingsbeiträge

Beier K., Fuchs P., Schimpf B., and Schreier F.: Simulation of Infrared Radiation from Biomass Fires and Retrieval of Smoke Particle Parameters, in W.L. Smith and Y. Timofeyev (eds.): *IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation, Proceedings of the International Radiation Symposium*, pp. 405 - 408, A. Deepak Publishing, 2001

Birk M., Hausamann D., Schreier F., Wagner G.: High Resolution Infrared Laboratory Spectroscopy of Atmospheric Constituents at DLR, in J. Demaison, K. Sarka, and E.A. Cohen (eds.): *Proc. Spectroscopy from Space (Bratislava, 31.10. – 4.11.00)*, NATO Science Series II, Vol. 20, pp. 219-233, Kluwer Academic Publishers, 2001

Clarmann v. T., und 17 Ko-Autoren (darunter Hilgers S., Schreier F. und Schwarz G.): *Advanced MIPAS Level 2 Data Processing (AMIL2DA)*, ACVE Noordwijk, 16.-18. Mai 2001, ESA WPP 186

Hegels E., Loyola D., Hummel S., Slijkhuis S., Thomas W.: Analysis of GOME/ERS-2 degradation and its impact on trace gas long-term monitoring, 2001 EUMETSAT Meteorological Satellite Data Users' Conference, Antalya, October 2001

Hilgers S., Schwarz G., Drescher A.: Impact of Alternative Matrix Structures on Retrieved Trace Gas Profiles, ASSFTS10, Ventura

Loyola D.: Inverse Modeling with Neural Networks for the Retrieval of Cloud Parameters, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'2001*, Sydney, July 2001

Loyola D., Thomas W., Aberle B., Balzer W., von Barga A., Ruppert T., Slijkhuis S., Spurr R.: "Ozone total column retrieval from GOME-1 to GOME-2", *Ozone SAF Users' Workshop*, Halkidiki, May 2001

Schreier F. and Schimpf B.: A New Efficient Line-By-Line Code for High Resolution Atmospheric Radiation Computations incl. Derivatives, in W.L. Smith and Y. Timofeyev (eds.): *IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation, Proceedings of the International Radiation Symposium*, pp. 381 - 384, A. Deepak Publishing, 2001

Schreier F. and Schimpf B.: MIRART --- A Line-By-Line Code for Infrared Atmospheric Radiation Computations incl. Derivatives, in P. Eriksson and S. Bühler (eds.): *Proc. Atmospheric Millimeter and*



Sub-Millimeter Wave Radiative Transfer Modeling, Berichte aus dem Institut für Umweltphysik, Universität Bremen, Band 4, pp. 33-45, Logos-Verlag, 2001

Schreier F., Schimpf B., Urban J., and Eriksson P.: Extension to the Infrared, in P. Eriksson and S. Bühler (eds.): Proc. Atmospheric Millimeter and Sub-Millimeter Wave Radiative Transfer Modeling, Berichte aus dem Institut für Umweltphysik, Universität Bremen, Band 4, pp. 179-189, Logos-Verlag, 2001

Schreier F. and Schimpf B.: PFUI --- Python FASCODE User Interface: P. Eriksson and S. Bühler (eds.): Proc. Atmospheric Millimeter and Sub-Millimeter Wave Radiative Transfer Modeling, Berichte aus dem Institut für Umweltphysik, Universität Bremen, Band 4, pp. 191-205, Logos-Verlag, 2001

Schwarz G., Hilgers S., Kemnitzer H: Modelling of the Attainable Resolution of Vertical Details from Limb Sounding Observations, EGS XXVI General Assembly, Nice, March 2001

Schwarz G., Hilgers S.: Use of Selected Initial Guesses for the Retrieval of Trace Gas Profiles, International Workshop on Atmospheric Science from Space using Fourier Transform Spectrometry (ASSFTS10), Ventura, October 2001

Tank V., Haschberger P., Bochter K., Oertel D., Beier K., Schreier F., Birk M., Lindermeier E., Wagner G.: Spectroscopic Measurements from Space with the FOCUS Sensor System to Analyse Gas and Smoke Properties of High Temperature Events, in J. Demaison, K. Sarka, and E.A. Cohen (eds.): Proc. Spectroscopy from Space (Bratislava, 31.10. – 4.11.00), NATO Science Series II, Vol. 20, pp. 259-273, Kluwer Academic Publishers, 2001

Tank V., Oertel D., Zhukov B., Schreier F., Beier K., Haschberger P., Skrbek W., Jahn H.: FOCUS on ISS-Sensor and Data Fusion for Earth Observation from Space, in IEEE Proceedings on International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI) Baden-Baden, August 20-22, ISBN Softbound 3-00-008260-3, pp 19 – 24, IEEE-TH8590, 2001

Thomas W., D. Loyola, B. Aberle, A. von Barga, W. Balzer, S. Slijkhuis, and R.J.D. Spurr: Trace gas total column products from GOME/ ERS-2 backscatter measurements, Proceedings to the Ozone SAF Users' Workshop, Halkidiki, Greece, May 2001

Weber M., Bramstedt K., Burrows J., Eichmann K., Richter A., Wittrock F., Arlander D.W., Bojkov B., Platt U., Wagner T., Loyola D., and Zehner C.: GOME near-real-time trace gas observations of ozone, NO<sub>2</sub>, OClO, and BrO during northern hemispheric winter/spring 2000/2001, 26th EGS Assembly, Nice, March 2001

Weber M., Bramstedt K., Lambert J.C., Loyola D., Gleason J.: The Use of GOME Total Ozone for Longterm Trend Assessment, SPARC/IOC Workshop „Understanding of Ozone Trends“, College Park, March 2001

### **5.3 Dokumente**

Gottwald M.: SCIAMACHY Operations Concept Update, PO-TN-DLR-SH-0011, Issue 1, 30. Juni 2001

Gottwald M.: SCIAMACHY Operations Concept I. Mission Scenarios, PO-TN-DLR-SH-0001/1, Issue 3, Rev. 0, 15. Oktober 2001

Gottwald M.: SCIAMACHY Operations Concept II. Timelines: Generation, Planning & Execution Rules and Reference Timelines, PO-TN-DLR-SH-0001/2, Issue 3, Rev. 0, 31. Oktober 2001

Krieg E.: SCIAMACHY Operations Concept III. Instrument States and Onboard Tables (PFM), PO-TN-DLR-SH-0001/3, Issue 3, Rev. 1, 30. März 2001

Krieg E.: SCIAMACHY Operations Concept III. Instrument States and Onboard Tables (PFM), PO-TN-DLR-SH-0001/3, Issue 3, Rev. 2, 22. Juli 2001

Loyola D., Aberle B., Hegels E., Thomas W.: Impact of ERS-2 Extra Backup Mode on GOME Products, ER-TN-DLR-GO-049, February 2001

Loyola D., Kretschel K.: Ozone SAF Design Document for the GOME-2 Universal Processor for Atmospheric Spectrometers, SAF/O3M/DLR/DD/001, Issue: 1/1, November 2001

Mikusch E., Loyola D.: DIMS Interface Control Document Specific Interfaces for Ozone SAF, DIMS-DLR-O3SAF-ICD-0067, Issue: 1.1, November 2001

Schreier, F., Beier K., Hess M., Tank V., Zhukov B.: FOCUS Data Fusion Development, Technical Note 1 (ESA Study report), May 2001

Schwarz G., Hilgers S.: Support to MIPAS In-Flight Characterisation and Validation Activities MIPAS Level 2: Enhanced Simulations and Retrieval Analysis, Tech Note 1: Project Description

Thomas W., Spurr R.J.D.: GOME Level 1 to 2 Algorithms Description, Technical Note, ER-TN-DLR-GO-0025, Iss./Rev.3/A, December 21, 2001

Thomas W., Spurr R.J.D.: GOME Software Data Bases for Level 1 to 2 Processing, ER-TN-DLR-GO-0018, Iss./Rev.3/A, December 21, 2001

#### **5.4 Vorträge und Pressemitteilungen**

Ernst T., Wauer J., Schmidt K. und Rother T.: Web-enabling Scattering Programs: The Virtual Scattering Lab Demonstrator, Int. Conf. on Optical Particle Characterization (OPC-2001), Brighton, UK, 2.-5. April 2001, pp. 68-69

Rother T., Kahnert M., Schmidt K., und Doicu A.: Green'sche Funktion und Symmetrie, 6. Mie-Seminar 2001, Bochum, Germany, pp. 9-10

Schmidt K., Wauer J.: General T-Matrix Formulation for Light Scattering on Non-Spherical Particles, 6. Mie-Seminar 2001, Bochum, Germany, pp. 7-8

Thomas W.: Trace Gas Total Column Products from GOME/ERS-2 Backscatter Measurements and Perspectives for GOME-2/METOP, 22 May 2001, Ozone SAF Users' Workshop, Kallithea, Halkidiki, Greece

Thomas W.: GOME Data Processor Version 3.0, 6 July 2001, ESA-ESRIN, Frascati, Italy

Thomas W.: Satellite remote sensing of the atmosphere, 6 November 2001, Max-Planck Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, Germany (Vortrag nach Einladung)

Thomas W.: ENVISAT, 23. November 2001, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, Germany (Vortrag nach Einladung)

Thomas W. und Müller E.: Zehnfache Erhöhung der Schwefeldioxid-Konzentration durch Ätna-Ausbrüche, Presse-Information Nr. 29/2001 des DLR vom 26. Juli 2001

Thomas W. und E. Müller E.: Hohe SO<sub>2</sub>-Belastung der Atmosphäre durch Ausbruch des Vulkans Majon auf den Philippinen / Entspannung am Ätna, Presse-Information Nr. 30/2001 des DLR vom 6. August 2001

#### **5.5 Besuchte Tagungen**

SCIAMACHY Science Advisory Group, IFE, Bremen, 14./15. Februar 2001

MIPAS Science Advisory Group, ESTEC, Noordwijk, 8./9. März 2001

26. General Assembly of the EGS, Nizza, 25.-30. März 2001

Int. Conference on Optical Particle Characterization (OPC), Brighton, 2.-5. April 2001

Pre-Launch Workshop on the Atmospheric Chemistry Validation of ENVISAT (ACVE), ESTEC, Noordwijk, 16.-18. Mai 2001

Ozone SAF Users' Workshop, Halkidiki, 25./26. Mai 2001

24th Annual Review of Atmospheric Transmission Models Air Force Research Laboratory, MA, USA, 6-8 June 2001

MIPAS Science Advisory Group, ESTEC, Noordwijk, 13. Juni 2001

IGARSS'2001, Sydney, 9.-13. Juli 2001

EUMETSAT Users' Conference, Antalya, 1.-5. September 2001

Third International Radiative Transfer Modeling Workshop (U. Bremen), Delmenhorst, October 10-11, 2001

SCIAMACHY Science Advisory Group, ESTEC, Noordwijk/NL, 10. Oktober 2001

Int. Workshop on Atmospheric Science from Space using Fourier Transform Spectrometry (ASSFTS), Ventura, 10-12. Oktober 2001

Int. Workshop on „Recent Problems in Radiative Transfer Modelling II“, Berlin, 15.-18. Oktober 2001

6. Mie-Seminar, Universität Bochum, 11. November 2001

## **5.6 Organisierte Veranstaltungen**

Der internationale Workshop über „Recent Problems in Radiative Transfer Modelling II“ wurde von IMF-AP (Dr. U. Böttger) gemeinsam mit dem Institut für Weltraumwissenschaften der Freien Universität Berlin (Prof. J. Fischer) vom 15.-18. Oktober 2001 in Berlin organisiert. Wissenschaftlern, die auf dem Gebiet der mathematischen und numerischen Modellierung des Strahlungstransfers im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Spektralbereich arbeiten, wurde auf diesem Workshop die Möglichkeit gegeben, ihre Ergebnisse, Lösungen und Probleme ausführlich zu diskutieren. Für jeden Vortragenden standen 30 Minuten für die Präsentation und 10 Minuten Diskussionszeit zur Verfügung. Dies wurde von allen Teilnehmern für die Qualität der Veranstaltung als sehr vorteilhaft bewertet. Die Themengebiete umfassten die Bereiche Polarisation, nichtsphärische Teilchen, neue Konzepte zur Lösung der Strahlungstransfergleichung, anisotrope Randbedingungen und Retrieval-Aspekte. Es wurde von den Teilnehmern angeregt, in naher Zukunft einen weiteren Workshop zur genannten Thematik durchzuführen.

## **5.7 Diplom- und Doktorarbeiten**

Steinwagner, Jörg: „Optimierung der Parameter für ein operationelles Offline-Retrieval von Temperatur- und Spurengas-Vertikalprofilen aus MIPAS-Daten“, laufende Promotion, Betreuer: Prof. J. Quenzel (LMU München)/G. Schwarz (DLR) und Dr. F. Schreier (DLR)

Havemann, Stefan: „Die Modellierung atmosphärischer Eiskristalle und ihre Anwendung im Strahlungstransport“, Promotion, erfolgreich verteidigt im Februar 2001, Betreuer: Prof. C. Simmer (Univ. Bonn)/Dr. T. Rother (DLR)

## 6. Abkürzungen und Akronyme

|          |  |
|----------|--|
| AFS      | Aerosolforschungsschwerpunkt   |
| AMIL2DA  | Advanced MIPAS Level 2 Data Analysis                                     |
| AP       | Atmosphärenprozessoren   |
| ATSR     | Along Track Scanning Radiometer  |
| AUC      | Atmospheric User Center  |
| BISA     | Belgian Institute for Space Aeronomy                                     |
| BMBF     | Bundesministerium für Bildung und Forschung                              |
| CAF      | Cluster Angewandte Fernerkundung   |
| CLOUDMAP | Cloud Mapping Project  |
| CRISTA   | Cryogenic Infrared Spectrometers and Telescopes for the Atmosphere       |
| DFD      | Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum                                     |
| DIMS     | Data and Information Management System                                   |
| DLR      | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt                                |
| DMF      | Diskreter Mie-Formalismus  |
| DOAS     | Differential Optical Absorption Spectroscopy                             |
| D-PAC    | Deutsches Processing and Archiving Centre                                |
| DU       | Dobson Unit  |
| EGOI     | Extracted GOME Instrument Headers  |
| ENVISAT  | Environmental Satellite  |
| EORCU    | European Ozone Research Coordinating Unit                                |
| EPS      | European Polar System  |
| ERS      | European Remote Sensing Satellite  |
| ESA      | European Space Agency  |
| ESL      | Expert Support Lab   |
| ESRIN    | European Space Research Institute  |
| ESTEC    | European Space Center of Technology                                      |
| EU       | European Union   |
| EUMETSAT | European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites  |
| FDV      | Finite-Differenzen Verfahren   |
| F&E      | Forschung und Entwicklung  |
| FhG      | Fraunhofer Gesellschaft  |
| FIRST    | Forschungsinstitut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik            |
| FMI      | Finnish Meteorological Institute   |
| FOCUS    | Projektname für einen Sensor zur Detektion von Hochtemperaturereignissen |
| FOV      | Field of View  |
| GDP      | GOME Data Processor  |
| GMD      | Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung                        |
| GOME     | Global Ozone Monitoring Experiment                                       |
| GOMETRAN | Strahlungstransfermodell der Universität Bremen                          |
| GOMOS    | Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars                          |
| HDF      | Hierarchical Data Format   |
| HGF      | Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren                       |
| HTE      | Hochtemperaturereignis   |
| HTML     | Hypertext Markup Language  |
| IAA      | Instituto de Astrofisica de Andalucia                                    |
| IAI      | Institut für Angewandte Informatik                                       |
| ICG      | Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre                            |
| ICFA     | Initial Cloud Fitting Algorithm  |
| IFE      | Institut für Fernerkundung   |
| IM       | Institut für Meteorologie (FU Berlin)                                    |
| IMF      | Institut für Methodik der Fernerkundung                                  |
| IMG      | Institut für Meteorologie und Geophysik                                  |
| IMK      | Institut für Meteorologie und Klimaforschung (Karlsruhe)                 |
| INVERT   | Inversion of Vertically Resolved Trace Gas Profiles                      |
| IROE     | Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche                         |

|           |  |
|-----------|--|
| ISCCP     | International Satellite Cloud Climatology Program  |
| IT        | Information Technology   |
| IU        | Institut für Umweltphysik (Heidelberg)   |
| IUP       | Institut für Umweltphysik (Bremen)   |
| KA        | Klima- und Atmosphärenprodukte   |
| KOPRA     | Karlsruhe Optimized and Precise Radiative Transfer Algorithm   |
| LACE      | Lindenberg Aerosol Closure Experiment  |
| LbL       | Line-by-Line   |
| METEOSAT  | Meteorological Satellite   |
| METOP     | Meteorological Orbital Polar Satellite   |
| MIPAS     | Michelson Interferometer Passive Atmospheric Sounder   |
| MIRART    | Modular Infrared Atmospheric Radiative Transfer  |
| MLS       | Microwave Limb Sounder   |
| MM        | Marketing und Medien   |
| MODIS     | Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer  |
| MPI       | Max-Planck-Institut  |
| MSG       | METEOSAT Second Generation   |
| NASA      | National Aeronautics and Space Administration  |
| NCAR      | National Center for Atmospheric Research   |
| NILU      | Norwegian Institute of Air Research  |
| NRCan     | Natural Resources Canada   |
| NRT       | Near Realtime  |
| OCRA      | Optical Cloud Retrieval Algorithm  |
| OE        | Organisationseinheit   |
| OFM       | Optimized Forward Model  |
| OI        | Optimal Interpolation  |
| PAC       | Processing and Archiving Centre  |
| PAF       | Processing and Archiving Facility  |
| PDS       | Payload Data Segment   |
| PMD       | Polarisation Measurement Device  |
| QCA-CP    | Quasikristalline Näherung mit kohärentem Potential   |
| QUILT     | Quantification and Interpretation of Long-Term UV-Vis Observations of the Stratosphere                         |
| RAL       | Rutherford Appelton Laboratory   |
| RFM       | Reference Forward Model  |
| ROSE      | Research on Ozone in the Stratosphere and its Evolution (Chemie-Transportmodell)                               |
| SAGE      | Stratospheric Aerosol and Gas Experiment   |
| SAF       | Satellite Application Facility   |
| SAO       | Smithsonian Astrophysical Observatory  |
| SAST      | SCIAMACHY Algorithm Support Team   |
| SCIAMACHY | Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography  |
| SOST      | SCIAMACHY Operations Support Team  |
| STG       | Strahlungstransfergleichung  |
| STREAMER  | Small Scale structure Early Warning and Monitoring in Atmospheric Ozone and Related Exposure to UV-B radiation |
| TOA       | Top of Atmosphere  |
| TOMS      | Total Ozone Mapping Spectrometer   |
| UMARF     | Unified Meteorological Archive and Retrieval Facility  |
| UPAS      | Unified Processor for Atmospheric Spectrometers  |
| VL        | Virtuelles Labor   |
| WMO       | World Meteorological Organization  |