

**Organisationseinheit
Atmosphärenprozessoren
Jahresbericht 2005**



Herausgeber:

Organisationseinheit Atmosphärenprozessoren
des Instituts für Methodik der Fernerkundung

Inhaltliche Verantwortung:

Prof. Dr. Thomas Trautmann

Redaktion und Layout:

Prof. Dr. Thomas Trautmann,
Dr. Manfred Gottwald und Brigitte Rüba

Titelbild:

Mittlere Ozondichten über der Nordhemisphäre im März 1996 und Südhemisphäre im September 1996. Die Darstellung ist ein Ausschnitt eines Posters zum 10. Jahrestag des Beginns der operationellen GOME-Datenverarbeitung am DLR (siehe Beitrag in Kap. 2).

Oberpfaffenhofen, Januar 2006

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort	4
2.	Höhepunkte des Jahres 2005.....	5
	GOME: 10 Jahre Operationelle Datenverarbeitung im DLR.....	5
3.	Laufende Projekte und Vorhaben	11
3.1	Ozone Monitoring SAF.....	11
3.2	Analyse von GOME-2 Spaltfunktion-Messungen	14
3.3	Erweiterung von CHEOPS-GOME.....	16
3.4	Entwicklung und Implementierung der Tools SciCal und SciaL1c	17
3.5	Status SCIAMACHY-Datenprozessoren Level 0-1b und Level 1b-2	23
3.6	DPQC – Ein Link von der Datenprozessorentwicklung zum operationellen Betrieb	24
3.7	SCIAMACHY Limb-Retrieval Prozessor.....	25
3.8	Nadir-Algorithmen für den SCIAMACHY-Infrarotbereich	27
3.9	SCIAMACHY Operations Support.....	30
3.10	Profilformabhängige Regularisierung für MIPAS-Daten	33
3.11	Strahlungstransfermodellierung in sphärischen Atmosphären unter Einbeziehung von Emission und Streuung	35
3.12	Abschluss von COBI/DEKLIM und Ausblick.....	37
3.13	Die Atmospheric Dynamics Mission – ADM	39
3.14	FitMAS-Analyse von Laborspektren	41
3.15	Selbstkonsistenter Green-Funktionsformalismus für die Lichtstreuung	43
3.16	Streudatenbank für nichtsphärische Teilchen	45
3.17	Retrieval von Spurengasemissionen über Waldbränden.....	47
3.18	Saharan Mineral Dust Experiment – Ein Überblick über Teilprojekt 2.....	50
3.19	Entwicklung von 3D-Strahlungstransportparametrisierungen	52
3.20	3D-Strahlungstransporteck in gemessenen und stochastisch generierten Wolken.....	55
4.	Veröffentlichungen, Vorträge und Tagungen	58
4.1	Zeitschriftenartikel	58
4.2	Proceedingsbeiträge	59
4.3	Dokumente und Berichte	59
4.4	Vorträge, Poster und Pressemitteilungen	59
4.5	Besuchte Tagungen	61
4.6	Diplom- und Doktorarbeiten	61
	Abkürzungen und Akronyme.....	63

1. Vorwort

In seiner fünften Ausgabe dokumentiert der vorliegende Jahresbericht für 2005 eine vollständige Zusammenstellung von Arbeiten und Entwicklungen, die in der Organisationseinheit *Atmosphärenprozessoren* des Instituts für Methodik der Fernerkundung (IMF-AP) im vergangenen Jahr durchgeführt wurden.

Ein sehr wichtiges Ereignis im Jahr 2005 war das 10-jährige Jubiläum der ESA ERS-2 Mission, zu dessen Nutzlast das GOME-Spektrometer gehört, welches die weltweite Verteilung von Spurengasen registriert. Das IMF betreibt eine kontinuierliche Weiterentwicklung des Prozessorsystems zur Verarbeitung der GOME-Daten in der Deutschen Processing and Archiving Facility (D-PAF) des Clusters *Angewandte Fernerkundung*. Dort werden seit Mitte 1995 aus den GOME-Messungen u. a. die Gesamtsäulen von O₃, NO₂ und weiterer Spurengase global erstellt. Wegen des Ausfalls des Datenrecorders an Bord von ERS-2 im Juni 2003 werden die GOME-Daten inzwischen lokal an einer Reihe von Empfangsstationen in allen sieben Kontinenten empfangen. Man hofft, die ERS-2 Mission noch um weitere zwei bis drei Jahre verlängern zu können.

Eine ähnliche Erfolgsgeschichte schreibt hoffentlich die nunmehr seit vier Jahren erfolgreich durchgeführte ESA ENVISAT-Mission. Infolge des sehr guten Zustandes des Satelliten sowie der Großzahl der auf ihm mitgeführten Instrumente – es ist auch reichlich Treibstoff für weitere Bahnkorrekturmanöver vorhanden – rückt eine Verlängerung der Mission bis 2010 in greifbare Nähe. Wie in diesem Jahresbericht näher ausgeführt wird, besitzt SCIAMACHY eine ununterbrochen hohe Zuverlässigkeit und liefert weiterhin wissenschaftlich hochwertige Messdaten des Atmosphärenzustandes.

Als wichtige – nichtwissenschaftliche – Begebenheit des vergangenen Jahres ist aus unserer Sicht sicher der Ende Juli 2005 durchgeführte Umzug der Abteilung IMF-AP am DLR-Standort Oberpfaffenhofen vom Gebäude 122 in das Gebäude 133 zu nennen. Damit sind nun alle vier Abteilungen des IMF unter einem Dach vereint. Schließlich sei auch die Ende Oktober 2005 in nahezu kompletter Besetzung in Wallgau durchgeführte zweitägige Abteilungsklausur erwähnt. Auf ihr haben wir zahlreiche Anregungen erhalten, die es uns ermöglichen sollen, unsere zukünftigen Aufgaben effektiv, mit Interesse und vor allem mit Freude zu bewältigen.



Allen Autoren sei an dieser Stelle für ihre Beiträge in diesem Jahresbericht herzlich gedankt!

Prof. Dr. Thomas Trautmann

Dr. Manfred Gottwald

2. Höhepunkte des Jahres 2005

GOME: 10 Jahre Operationelle Datenverarbeitung im DLR

D. Loyola, P. Valks, B. Aberle, S. Slijkhuis, T. Ruppert (DFD-MM), T. Erbertseder (DFD-KA), W. Thomas (DWD)

Das Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) auf dem europäischen Erdbeobachtungssatelliten ERS-2 war ESA's erstes satellitengeträgtes Atmosphäreninstrument. Seit seinem Start im April 1995 hat es bereits mehr als 10 Jahre erfolgreichen Betrieb hinter sich. GOME war nicht nur unter sensorspezifischen Aspekten ein Vorläufer heutiger Experimente wie SCIAMACHY auf ENVISAT oder OMI auf AURA. Auch im Bereich Algorithmen und Datenverarbeitung legte GOME den Grundstein für die gegenwärtigen Missionen. Mit dem geplanten Start von GOME-2 auf METOP Mitte 2006 sollen die von GOME begonnenen Messungen auch zukünftig fortgesetzt werden. Dabei umfasst ein wesentlicher Aspekt die Hinwendung von einem wissenschaftlichen Experiment (GOME/ESA) zu einer operationellen Anwendung (GOME-2/EUMETSAT). Das DLR hat frühzeitig Verantwortung hinsichtlich der Datenverarbeitung von GOME übernommen. Die daraus resultierenden, nunmehr länger als eine Dekade andauernden erfolgreichen Tätigkeiten werden nicht nur von der Gemeinde der Atmosphärenwissenschaft genutzt, sondern bilden auch die Grundlage für zahlreiche Schlüsselprojekte innerhalb des Clusters *Angewandte Fernerkundung* (C-AF), beispielsweise die Aktivitäten im GMES-Rahmen PROMOTE (ESA) und Ozone Monitoring SAF (EUMETSAT).

Historie des GDP-Projekts

Das Projekt *GOME Data Processor* (GDP) wurde im Jahr 1992 im DFD begonnen. Seitdem läuft es erfolgreich mit den beiden Komponenten operationelles D-PAF am DFD sowie Projektleitung und Entwicklung in IMF-AP. GDP umfasst die Module

- Dateninput und Datenarchivierung
- Level 1 und Level 2 Produkterzeugung
- Qualitätssicherung
- Produktkatalog
- Datenverteilung

des operationellen GOME-Bodensegments. Bereits wenige Monate nach dem Start waren die ersten Versionen der Level 0-1 und 1-2 Prozessoren verfügbar, wobei die komplette Prozessierungskette ihren operationellen Betrieb nur wenig später Anfang 1996 aufnahm.

GDP 1-to-2 Versionen

Einschließlich der gegenwärtigen gibt es 4 Versionen des GDP Level 1-2 Prozessors (siehe Tabelle 2-1). Alle beruhen auf der Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS) Fit-Methode. Die erste operationelle Version GDP 2.0 wurde im August 1996 freigegeben, nachdem GOME die Commissioning-Phase sowie die erste geophysikalische Validierung erfolgreich bestanden hatte. Das Hauptaugenmerk im nächsten Schritt, der operationellen Version GDP 2.7, lag auf der Verbesserung der NO₂-Produkte. GDP 3.0 beinhaltete eine deutliche Aufwertung der Ozon-Gesamtsäulen, basierend auf einem mit einem neuronalen Netzwerk bestimmten Air Mass Factor (AMF), der Nutzung zweier Ozon-Wirkungsquerschnitte zur Ableitung effektiver Temperaturen und der Anpassung eines theoretischen Ring-Spektrums.

Die aktuelle Version GDP 4.0 zeichnet sich durch eine weitere Verbesserung der Ring-Korrektur aus, um auch inelastische Ramanstreuung in Ozon-Absorptionsstrukturen berücksichtigen zu können. Des Weiteren enthält sie „on-line“ Berechnungen der AMF mit Hilfe des LIDORT-Modells und zwei neue Algorithmen zur Bestimmung von Wolkenparametern – OCRA und ROCINN. Darüber hinaus wurde für GDP 4.0 als neue operationelle Umgebung das UPAS-System gewählt (UPAS = Universal Processor for Atmospheric Spectrometers). Unabhängige Validierungskampagnen haben gezeigt, dass die Genauigkeit, die man mit GDP 4.0 bei Ozon-Gesamtsäulen erzielt, im Prozentbereich liegen, d.h. mit derjenigen von bodengebundenen Instrumenten vergleichbar ist.

GDP 1-to-2 Version	Freigabedatum	Produktrevision
GDP 2.0	August 1996	01
GDP 2.7	Dezember 2000	02
GDP 3.0	Juli 2002	03
GDP 4.0	Dezember 2004	04

Table 2-1. GDP 1-to-2 Versionen

GOME am D-PAF

Die operationellen Komponenten der GOME-Prozessierung sind Teil der im DFD untergebrachten ERS-2 *Processing and Archiving Facility* (D-PAF). Sie nutzen dessen Data Management System (DMS) für alle Aspekte des Datenhandlings, einschließlich Archivierung und Verteilung. Mit Ende des Jahres 2005 hat ERS-2 insgesamt 55937 Orbits zurückgelegt. Davon extrahierte das D-PAF an GOME Off-line Produkten

- 41.226 CDs mit Level 1 Produkten (eine CD enthält Daten von drei Tagen)
- 8.994 CDs mit Level 2 Produkten (eine CD enthält Daten eines Monats)

Zusätzlich können eine Untermenge der Level 1 Produkte sowie alle Level 2 Produkte über einen FTP-Server transferiert werden.

GOME Near-Real-Time Service

Bereits in einer frühen Phase der GOME-Mission wurde die Notwendigkeit eines NRT-Services erkannt. Man entschloss sich deshalb ab Januar 1997, den GDP in den ERS-2 Hauptbodenstationen Kiruna, Gatineau (beinhaltet Daten der Prince-Albert-Station) und Maspalomas zu implementieren, um so eine NRT-Verarbeitung der GOME-Daten zu ermöglichen. Seit den Problemen mit dem ERS-2 Bandgerät Mitte 2003 hat ESA die Anzahl der Bodenstationen ausgeweitet. Momentan werden auch in Matera, Miami, Beijing, Hobart und McMurdo sowie auf Kampagnenbasis in O'Higgins/Antarktis Daten empfangen und zu NRT-Produkten weiterverarbeitet (Abb. 2-1).



Abb. 2-1: GOME/ERS-2 Bodenstationen (Bild: nach W. Lengert, ESRIN).

Operationelle Produkte

Die operationellen Level 2 Produkte des GDP 4.0 umfassen

- Ozon-Gesamtsäule
 - NO₂-Gesamtsäule
 - Wolken-Bedeckungsgrad: *cloud fraction*
 - Wolkenhöhe: *cloud-top height*
 - Wolkenalbedo: *cloud-top albedo*

In den Abbildungen 2-2 bis 2-5 werden einige dieser Inhalte exemplarisch dargestellt.

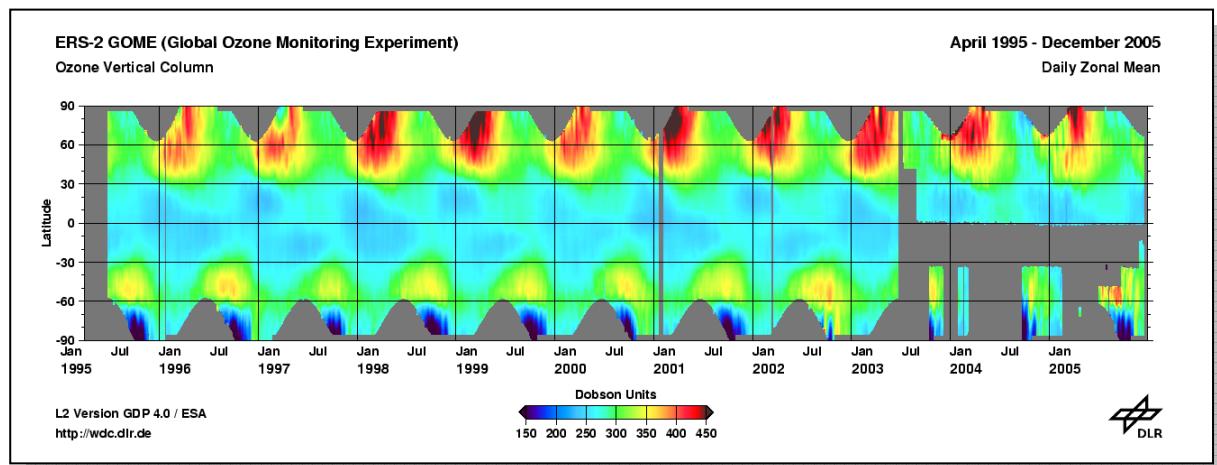


Abb. 2-2: Tägliche mittlere Ozondichten als Funktion der geografischen Breite, berechnet aus GOME-Daten von Juni 1995 bis Dezember 2005. Die Änderung ab Mitte 2003 ist eine Folge des ERS-2 Bandgeräteproblems.

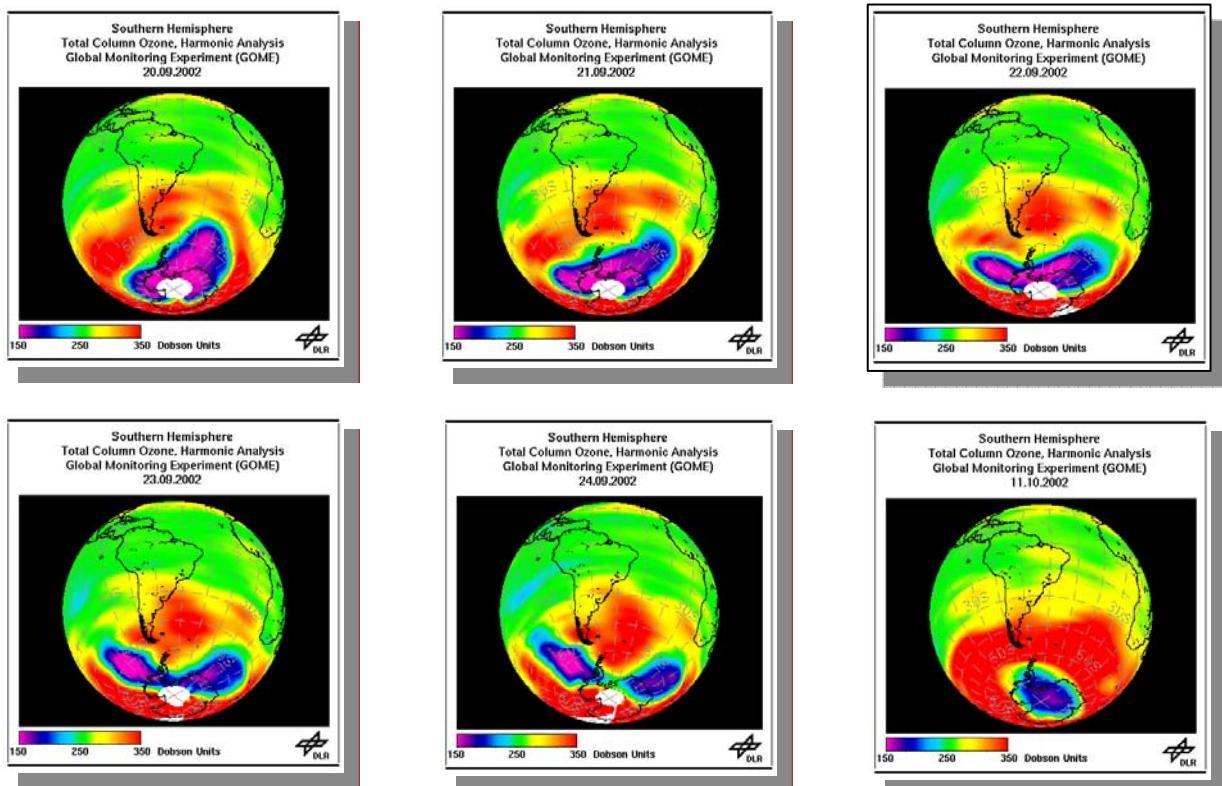


Abb. 2-3: Entwicklung des Ozonlochs über der Antarktis im Jahr 2002.

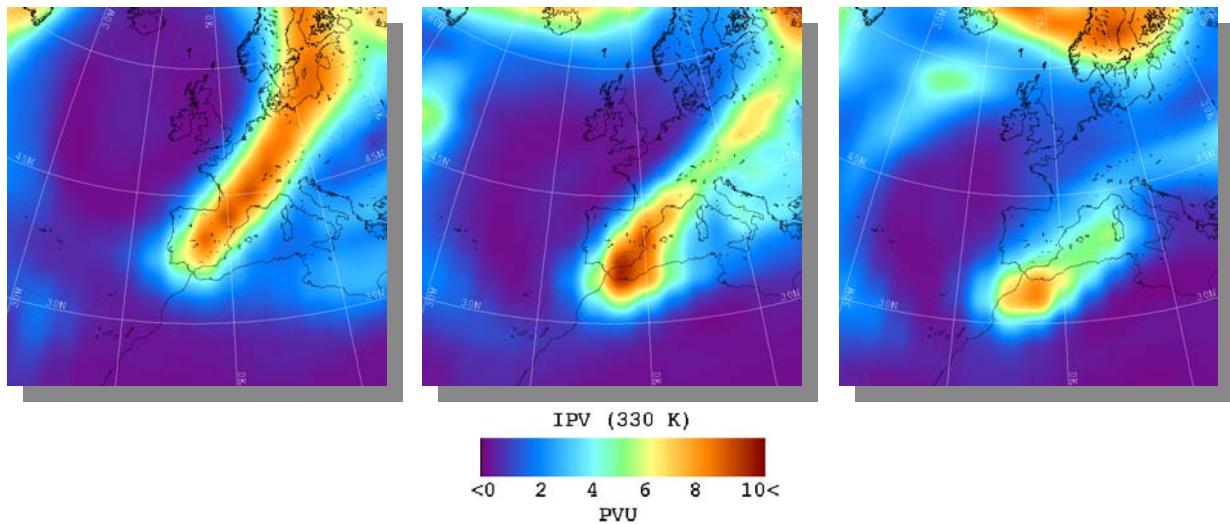


Abb. 2-4: „Mini“-Ozonlöcher über Europa an drei aufeinanderfolgenden Tagen (9.-11.) im November 2001

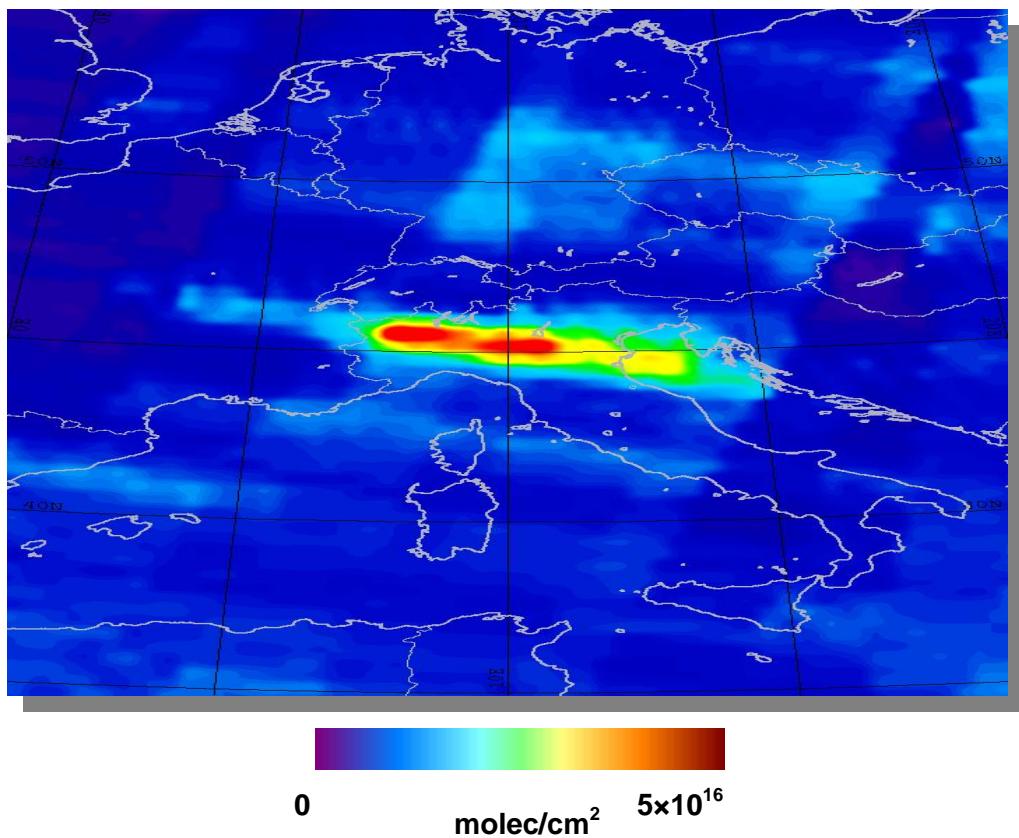


Abb. 2-5: Troposphärisches NO₂ über der Po-Ebene vom 17.-21. Januar 2002

Troposphärische Spurengase, Aerosole und Wolken

Luftverschmutzung hat sich zu einem Thema entwickelt, das insbesondere für Atmosphärenuntersuchungen mit satellitengestützten Instrumenten von großem Interesse ist. Gerade aus der globalen Beobachtungsposition im Orbit ist es möglich, die Quellen der Luftverschmutzung, ihren Umfang sowie den Transport der Verschmutzungsprodukte nachzuweisen. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur lückenlosen Überwachung internationaler Luftreinhaltungsprotokolle geleistet. Generell stellen der massive Verbrauch fossiler Brennstoffe und großflächige Brandrodungen deutlich sichtbare Luftverschmutzungs-, „Hot Spots“ dar. Dazu addieren sich natürliche Vorgänge wie beispielsweise vulkanische Eruptionen. GOME hat gezeigt, wie man die damit verbundenen Spurengase in der Troposphäre erkennen und ihre Häufigkeit quantitativ bestimmen kann. Eine vollständige Beschreibung all dieser Aktivitäten würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen. Es seien deshalb nachfolgend nur einige wenige Beispiele mit troposphärischen Inhalten gezeigt. Sie betreffen geophysikalische Parameter, die nicht im operationellen GOME-Bodensegment abgeleitet werden. Die hier gezeigten Produkte entstehen am DLR für wissenschaftliche Zwecke oder dienen der Vorbereitung auf GOME-2 (siehe auch den Beitrag zum O3M-SAF in Kapitel 3.1).

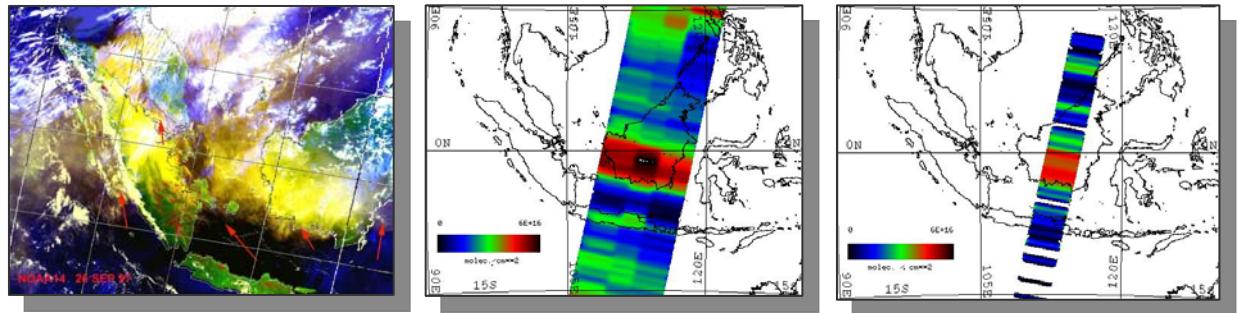


Abb. 2-6: *Biomass Burning* über Indonesien am 26. September 1997. Links die entsprechende Aufnahme des AVHRR. Die beiden anderen Bilder zeigen aus GOME-Messungen abgeleitetes NO₂ (Mitte) bzw. Formaldehyd (rechts).

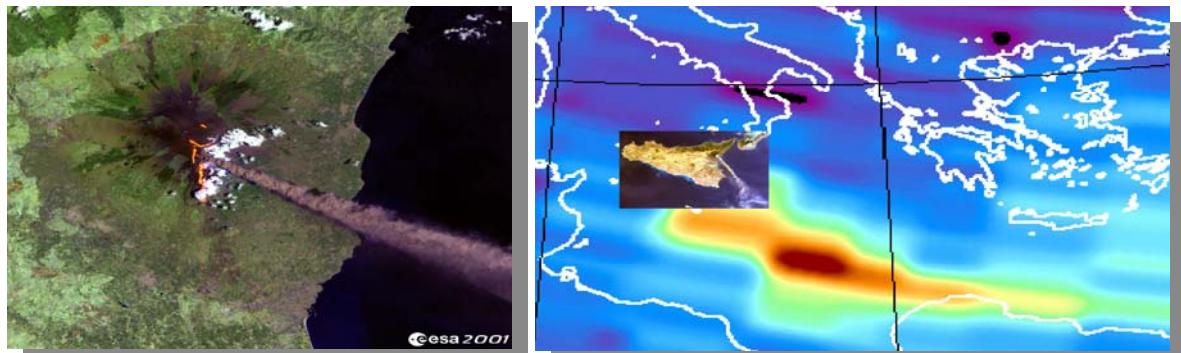


Abb. 2-7: Die Eruption des Ätna Ende Juli 2001. Das LANDSAT-Bild im sichtbaren Spektralbereich lässt Details der Aschewolke erkennen. Sie korreliert mit der von GOME nachgewiesenen SO₂-Fahne.

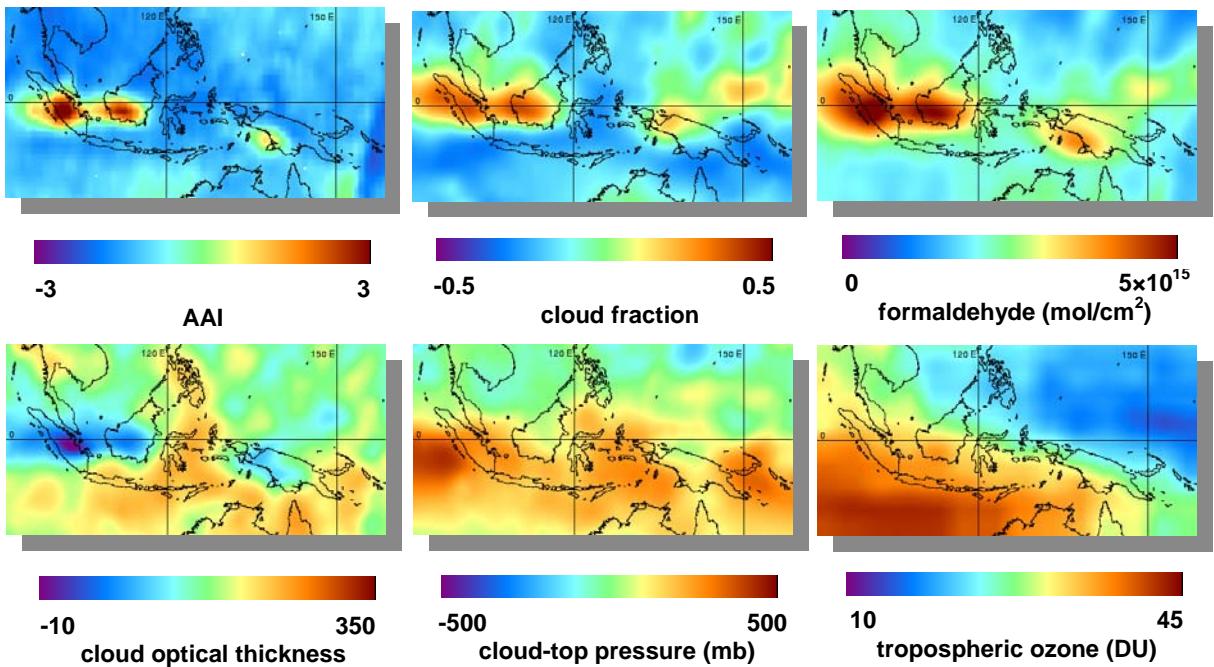


Abb. 2-8: Durch El Niño verursachte atmosphärische Anomalien über Südostasien. Alle hier gezeigten Parameter wurden aus GOME-Messungen vom Oktober 1997 abgeleitet.

Der Autor dankt allen Kollegen am IMF und im DFD, die mit ihrer Mitarbeit das GDP-Projekt ermöglicht haben. Dies schließt auch alle externen Partner von BIRA, RT Solutions, AUTH, der Universität Bremen sowie Heidelberg, KNMI, RAL, SAO, SRON, and NASA ein. GDP wurde bis 1999 vollständig durch das BMBF (über DARA) finanziert. Seitdem stellt ESA (ESTEC und ESRIN) die erforderlichen Mittel bereit.

3. Laufende Projekte und Vorhaben

3.1 Ozone Monitoring SAF

D. Loyola, P. Valks, L. Butenko, W. Zimmer, S. Kiemle (DFD-IT), B. Pflug (IMF-GW), H. Witt (IMF-GW)

Die Satellite Application Facility für Ozon, das sogenannte Ozone Monitoring SAF (O3M-SAF), soll im Bodensegment der METOP-Satelliten operationell Level 2-Daten bestimmter Atmosphäreninstrumente dieser Serie verarbeiten. Das DLR ist in diesem Rahmen auf Grund seiner langjährigen Erfahrung bzgl. GOME auf ERS-2 mit der Prozessierung der Daten des Nachfolgers GOME-2 auf METOP beauftragt. Mit dem näher rückenden Start von METOP-1 im Juni 2006 tritt auch der Aufbau der im Cluster *Angewandte Fernerkundung* angesiedelten GOME-2 Einrichtungen in ihre entscheidende Phase.

Projektstatus

Mehrere Projektmeilensteine wurden im abgelaufenen Jahr erreicht. Hierzu zählen das Interface Readiness Review (IRR) Close-out Meeting im Juni 2005 und der Test Results Review (TRR) im Dezember 2005. Bei ersterem konnten alle offenen, das DLR betreffenden Punkte des IRR aus dem Jahr 2004 geschlossen werden. Das TRR hatte zum Ziel, die Ergebnisse des On-Site Integrationstests sowie den End-to-End Testplan zusammen mit der Vorbereitung des EPS Bodensegment-Gesamttests einschließlich UMARF und EUMETCast, zu begutachten.

Auf einem zusätzlichen Nutzer-Workshop wurden einige der bisher offenen Anforderungen an die NRT-Produkte konsolidiert. Dies beinhaltete, die O3M-SAF NRT-Produkte über das EUMETCast-System zu verteilen, zusätzlich zu den bestehenden Internetressourcen. Darüber hinaus entschied man sich, das Format der GOME-2 Level 2 NRT-Produkte dem BUFR-Standard gemäß zu definieren (Level 2 Offline-Produkte bleiben im HDF-Format).

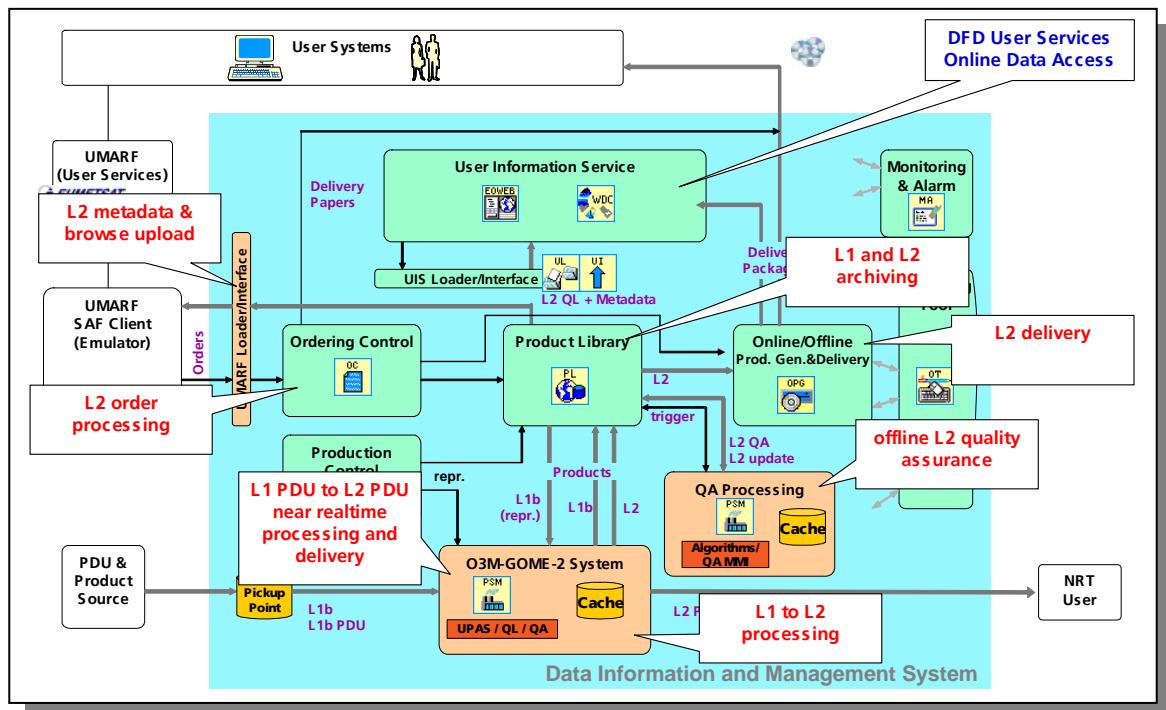


Abb. 3-1: DIMS-Konfiguration für das O3M-SAF.

Operationelle Umgebung für GOME-2

Die Arbeiten am operationellen System umfassten im Berichtsjahr Erweiterungen des UPAS-Prozessors mit dem Ziel, die O3M-SAF-Anforderungen zu erfüllen. Dazu zählten

- Einbindung eines verbesserten NO₂-Algorithmus (siehe weiter unten unter „wissenschaftliche Prototypen“)

- Implementierung und Testen der GOME-2 Level 1 Einlese- und Checkingroutine unter Zuhilfenahme von simulierten GOME-2 Level 1-Daten, die von EUMETSAT bereitgestellt wurden
- Ergänzung des GDP 0-1-Extractors um das GOME-2 Level 1-Format, um realistischere Tests ausführen zu können
- Integration eines QA-Tools in die Processing System Management (PSM) für GOME-2.

Die momentane Konfiguration von DIMS für GOME-2 ist in Abb. 3-1 gezeigt. Mit diesem System erfolgte die Durchführung der gemeinsam mit dem Finnischen Meteorologischen Institut (FMI) durchgeführten On-site NRT Dissemination Tests.

Wissenschaftliche Prototypen

Neben Ozon soll der operationelle Prozessor auch Stickstoffdioxid (NO_2) und Bromoxid (BrO) aus den gemessenen Absorptionsspektren ableiten. Diesbezügliche Retrievalalgorithmen wurden im vergangenen Jahr weiter verbessert. Darüber hinaus erfolgte eine Weiterentwicklung des Spectral Surface Albedo-Algorithmus.

Ein wesentlicher Teil der AP-Tätigkeiten im Rahmen des O3M-SAF umfasst die Bereitstellung eines neuen Prototypprocessors zur Ableitung von NO_2 -Säulen, basierend auf einer Erweiterung des GDP 4.0-Algorithmus. Dieser Prototyp enthält Korrekturen für Szenen mit starker Luftverschmutzung sowie Prozeduren zur Ableitung des troposphärischen NO_2 -Anteils. Die Vorgehensweise dafür umfasst die Schritte:

- Anwendung eines räumlichen Filtermechanismus auf die mit GDP 4.0 berechneten Gesamtsäulen zur Bestimmung der Stratosphärenkomponente
- Berechnung der troposphärischen Säule mittels troposphärischer Luftmassenfaktoren, wie sie sich in verschmutzten Gebieten ergeben: Diese Luftmassenfaktoren werden aus dem LIDORT-Strahlungstransfermodell ermittelt, wobei Information zum NO_2 -Profil aus dem Chemietransportmodell MOZART-2 eingeht.
- Korrektur der initialen Gesamtsäule anhand des troposphärischen Anteils, der insbesondere in verschmutzten Gebieten relevant ist.

Ein Beispiel für eine derart erhaltene troposphärische NO_2 -Säule ist in Abb. 3-2 für das Jahr 2000 dargestellt. Über Europa, den Vereinigten Staaten und Südostasien sind Zentren mit starker Luftverschmutzung erkennbar.

Die Weiterentwicklung dieses NO_2 -Prototypprocessors wurde durch einen O3M-SAF *Visiting Scientist* von der Universität Bremen unterstützt.

Unsere Arbeiten bzgl. des Retrievals von BrO konzentrierten sich auf die Verbesserung der Luftmassenfaktoren und die Berechnung der vertikalen Säule. Zu diesem Zweck wurden Look-Up-Tabellen der Luftmassenfaktoren aus den Strahlungstransfermodellen LIDORT und GOMETRAN bestimmt. Die dazu benötigten a-priori BrO -Profile stammen aus einer BrO -Klimatologie, welche von der Universität Bremen im Rahmen einer früheren O3M-SAF *Visiting Scientist*-Tätigkeit bereitgestellt wurde. Testweise entstanden mit diesem Prototypprocessor vertikale BrO -Säulen aus GOME/ERS-2 Messungen. Die Nordpolarregion im März 1998 zeigt Abb. 3-3 mit monatlichen Mittelwerten, die deutlich sichtbar bodennahe BrO -Emissionen, hauptsächlich über Meereis, aufweist. Zukünftige Weiterentwicklungen des BrO -Retrievalalgorithmus sehen die Behandlung von BrO in der freien Troposphäre und der Grenzschicht vor. Hier sind vor allem die Polarregionen von Interesse, da man dort stark variable troposphärische BrO -Dichten vorfindet.

Ein O3M-SAF *Visiting Scientist* des Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB) ist in die BrO -Tätigkeiten des Jahres 2006 in IMF-AP eingebunden.

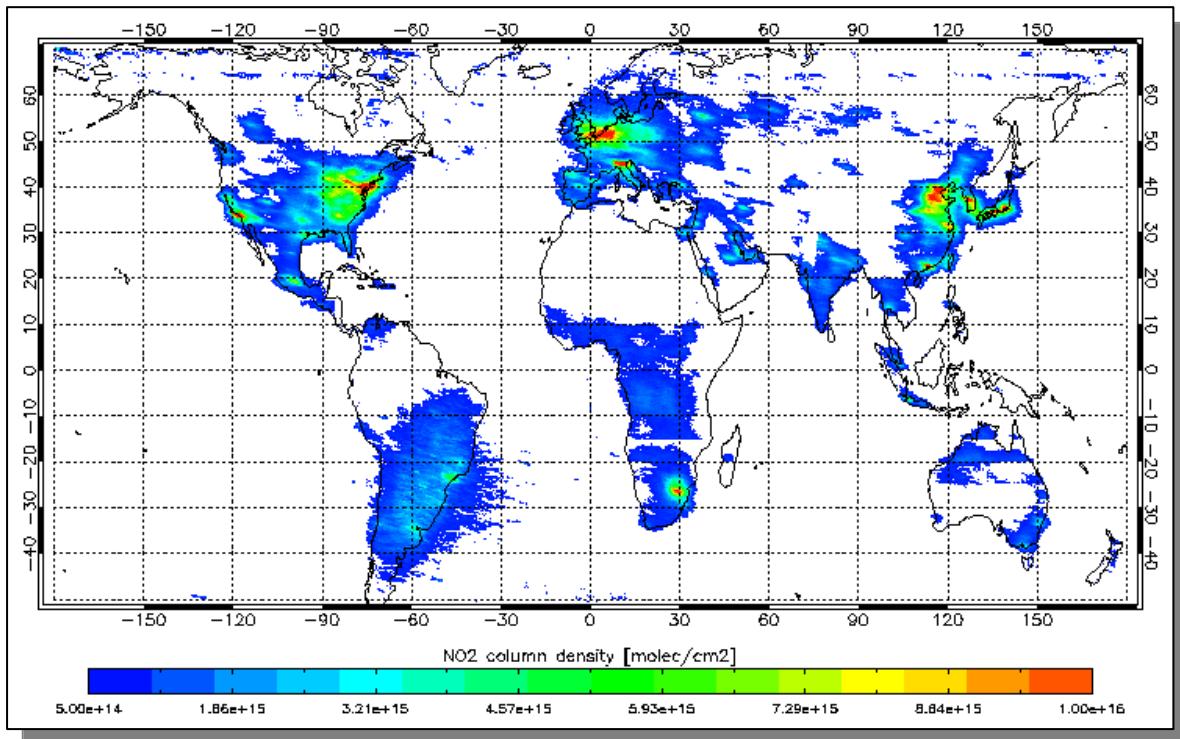


Abb. 3-2: Troposphärische NO₂-Säule, gemittelt für das Jahr 2000, wie sie aus GOME/ERS-2 Daten abgeleitet wurde

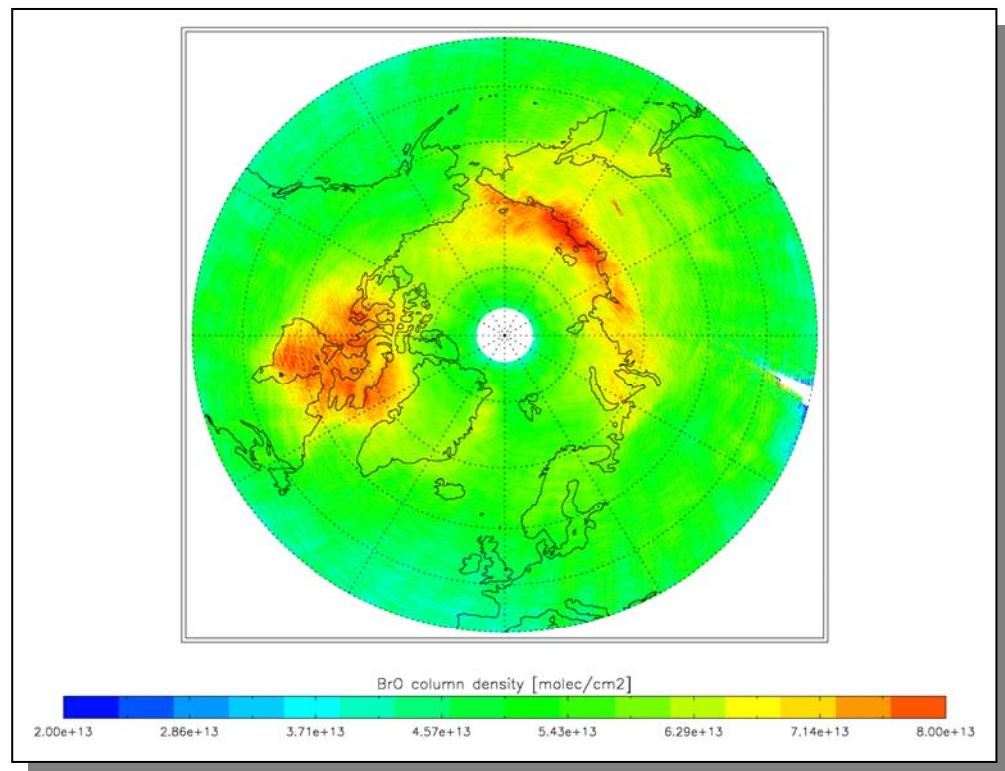


Abb. 3-3: Gesamtsäule BrO über der Arktis im März 1998, berechnet aus GOME/ERS-2 Daten

Weiterhin wurde im Rahmen des O3M-SAF Projekts ein Algorithmus in IMF-GW entwickelt, der die Ableitung der Spectral Surface Albedo aus mit GOME-2 gemessenen Top-of-Atmosphere (TOA) Radianzen ermöglicht. Dieser Parameter stellt eine wichtige Eingangsgröße beim Retrieval von Spurengaskonzentrationen dar, vor allem dann, wenn die Spurengase gehäuft in der unteren Troposphäre auftreten, wie es beispielsweise bei NO₂ und Gebieten mit Luftverschmutzung der Fall ist. Der neue Surface Albedo Algorithmus basiert auf einem Advanced Minimum Lambert-Equivalent Reflectivity

(MLER) Algorithmus mit einem variablen beweglichen Zeitfenster derart, dass NRT-Anforderungen erfüllt werden. Die Albedo wird für 14 Wellenlängen über den gesamten UV/VIS-Spektralbereich des Sensors ermittelt. Im Jahr 2005 wurde der MLER-Algorithmus auf experimentelle GOME/ERS-2 Daten, gemessen über unterschiedlichen Oberflächenarten, angewandt und die erhaltenen Ergebnisse einer detaillierten Genauigkeitsanalyse unterzogen.

3.2 Analyse von GOME-2 Spaltfunktion-Messungen

S. Slijkhuis

Mit immer genauer werdenden Verfahren zur Bestimmung von atmosphärischen Spurengasen aus Messungen von Spektrographen, wie beispielsweise GOME und SCIAMACHY, ist die Kenntnis der instrumentellen Spaltfunktion zu einem der limitierenden Faktoren geworden. Deshalb hat ESA für die Instrumente der GOME-2-Serie eine möglichst genaue Kalibrierung der Spaltfunktion vorgenommen. Da jedoch die Bestimmung der Spaltfunktion aus den Kalibrierungsmessungen keineswegs trivial ist, wurde von ESA gleichzeitig eine Studie zur Analyse derartiger Messungen ausgeschrieben. Bei dieser Studie, die hauptsächlich vom Rutherford Appleton Laboratory (RAL) in Oxford bearbeitet wird, agiert IMF-AP in einer Beraterrolle und nimmt die Validierung der RAL-Ergebnisse vor.

Hinsichtlich der Validierung sei aus einer weiteren Studie im Auftrag der ESA (*Orphal*, 2002) zitiert, aus der die Bedeutung der Spaltfunktion besonders hervorgeht: “We recommend studying in great detail the Instrumental Line Shape for the atmospheric instruments, by comparing laboratory spectra recorded with the field instruments with those recorded at high resolution ..., in particular above 400 nm. [...] This comparison with high-resolution laboratory data should be part of the calibration and characterisation of all atmospheric instruments”.

Genau diesem Ansatz folgt die in IMF-AP vorgenommene Validierung. Hierzu wurde der von GOME-2 gemessene Absorptions-Querschnitt von NO₂ – bereitgestellt durch IFE/Universität Bremen – mit einem hochaufgelösten Referenzspektrum (*Vandaele et al.*, 1998) verglichen, nachdem Letzteres mit der von RAL bestimmten Spaltfunktion gefaltet worden war (Abb. 3-4). NO₂ eignet sich für diesen Vergleich besonderes (siehe auch *Chance und Hilsenrath*, 2001), weil es innerhalb von einem GOME-2 Detektorpixel noch eine starke spektrale Strukturierung aufweist, sodass eine relativ kleine Abweichung in der benutzten Spaltfunktion einen relativ großen Einfluss auf das gefaltete Spektrum verursachen kann.

Es ist hinlänglich bekannt, dass kleine Fehler in der spektralen Kalibration (Wellenlängenbestimmung) einen großen Einfluss auf das abgeleitete Spurengasergebnis haben können. Tatsächlich zeigten sich in unseren Arbeiten Unstimmigkeiten zwischen der spektralen Kalibrierung von GOME-2 und dem Referenzspektrum. Um derartige Fehler in der Wellenlängenbestimmung zu umgehen, wurde die Validation deshalb teilweise im Fourier-Raum vorgenommen. Hierbei bestimmt die Form der Spaltfunktion das sogenannte *Powerspektrum*. Die Wellenlängenbestimmung findet sich nur in der Phaseninformation, nicht aber im Powerspektrum, wieder. Als Nachteil dieser Methode muss man jedoch ansehen, dass man zwar leicht Differenzen zwischen Messung und gefalteter Referenz feststellen kann, die Ursache dieser Differenz aber schwierig zu quantifizieren ist: Bedingt durch den üblicherweise vorhandenen Messfehler ist eine Rücktransformation der Differenz vom Fourier-Raum in den spektralen Raum nicht sinnvoll, sofern die Fourier-Eigenschaften des Messfehlers nicht sehr genau bekannt sind.

Unsere Validierung ergab, dass die abgeleitete Spaltfunktion sehr gut mit den von GOME-2 gemessenen Spektren im Bereich bis zu 500 nm übereinstimmt. Bei größeren Wellenlängen ergaben sich Unstimmigkeiten im Bereich von 2-3%. Allerdings wird oberhalb von 500 nm die NO₂-Absorption sehr schwach, sodass die Abweichung innerhalb der Messfehler nicht signifikant ist.

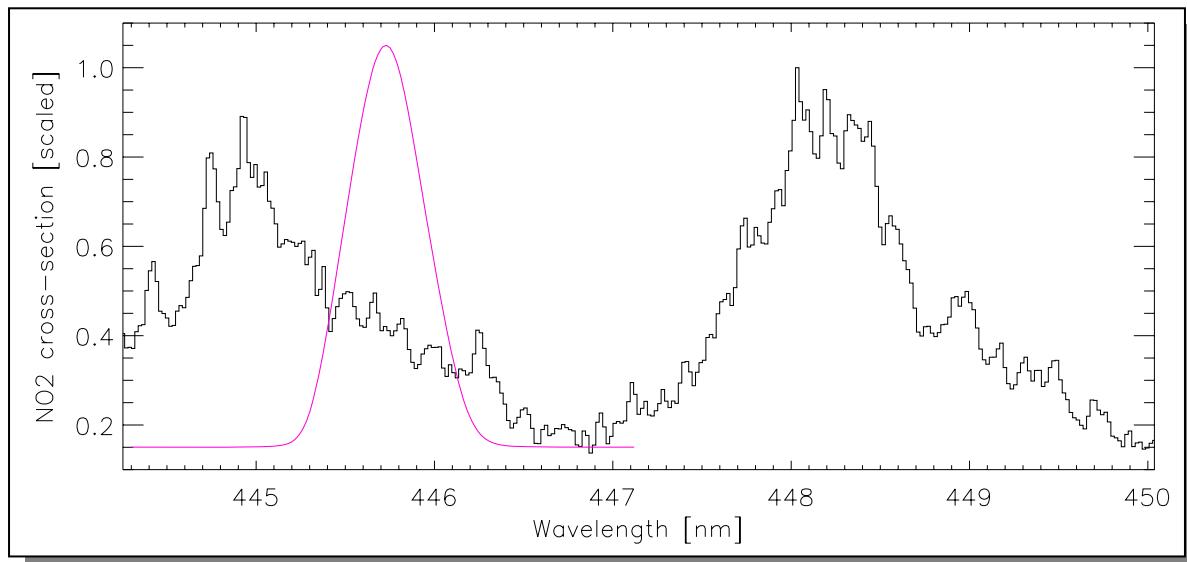


Abb. 3-4: Hochaufgelöstes NO₂ Spektrum am Anfang von Kanal 3 in GOME-2. Zum Vergleich die Form der Spaltfunktion an dieser Stelle (um 0.1 Einheiten nach oben verschoben).

zitierte Literatur:

Chance, K., E. Hilsenrath: Spectroscopic Database Needs for UV/VIS Satellite Measurements of Atmospheric Trace Gases, Workshop on Spectroscopic Needs for Atmospheric Sensing, San Diego, 2001

Orphal, J.: A Critical Review of the Absorption Cross-Sections of O₃ and NO₂ in the 240-790 nm Region, Part 2. Nitrogen Dioxide, ESA Technical Note MO-TN-ESA-GO-0302, March 15, 2002

Vandaele A.C., C. Hermans, P.C. Simon, M. Carleer, R. Colin, S. Fally, M.F. Merienne, A. Jenouvrier, B. Coquart: Measurements of the NO₂ absorption cross-section from 42000 cm⁻¹ to 10000 cm⁻¹ (238-1000 nm) at 220 K and 294 K, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 59, 171-184, 1998

3.3 Erweiterung von CHEOPS-GOME

S. Slijkhuis, B. Aberle, D. Loyola

Das Projekt CHEOPS (Climatology of Height-Resolved Earth Ozone and Profiling Systems) für GOME wurde von der ESA initiiert, und zielt auf die Möglichkeit einer operationellen Bestimmung des Ozon-Profils aus GOME-Daten. Die dazu erforderliche Verbesserung der Kalibration wird von IMF-AP übernommen. Im Jahr 2004 waren die wissenschaftliche Studie abgeschlossen und erste Ergebnisse in Software umgesetzt worden. Dazu zählte die Bestimmung von Signal-Hintergrund in Kanal 1 sowie Bestimmung von saisonaler Abhängigkeit in der Diffuser-BSDF. Details hierüber findet der Leser im Jahresbericht 2004.

Im Berichtszeitraum 2005 wurde die Qualität der Kalibrierung durch die Implementierung weiterer Algorithmen, jeweils eingebracht von externen Partnern, kontinuierlich verbessert. Diese umfassten

- *Berechnung der Polarisation im UV-Bereich unterhalb von $\lambda = 325 \text{ nm}$:* Dieses am KNMI entwickelte Verfahren konnte in die Level 1 Extraction Software des GOME Daten Prozessors (GDP) eingebaut werden. Hier wurden kleine Verbesserungen angebracht, beispielsweise in der Mittelung der Polarisation während der Integrationszeit (siehe Abb. 3-5).
- *Korrektur der Reflektivität im UV-Bereich unterhalb $\lambda = 380 \text{ nm}$:* Im Laufe der Mission degradieren optische Komponenten, insbesondere im UV-Bereich. Die Korrekturfaktoren, die genau diese instrumentelle Degradation beschreiben, wurden bei SRON bestimmt. Sie erweitern die momentan benutzte Korrektur, indem sie die unterschiedliche Degradation in den beiden Lichtwegen für Sonnen- und Erdbeobachtung berücksichtigen. Die GDP Level 1 Extraction Software wurde mit dem neuen Korrekturansatz versehen.
- *Dokumentation:* Die im Rahmen des CHEOPS-Projekts vorgenommenen Weiterentwicklungen sind im Detailed Processing Model (DPM) und einem Update des Software User Manuals beschrieben. Beide Dokumente wurden an die ESA geliefert.

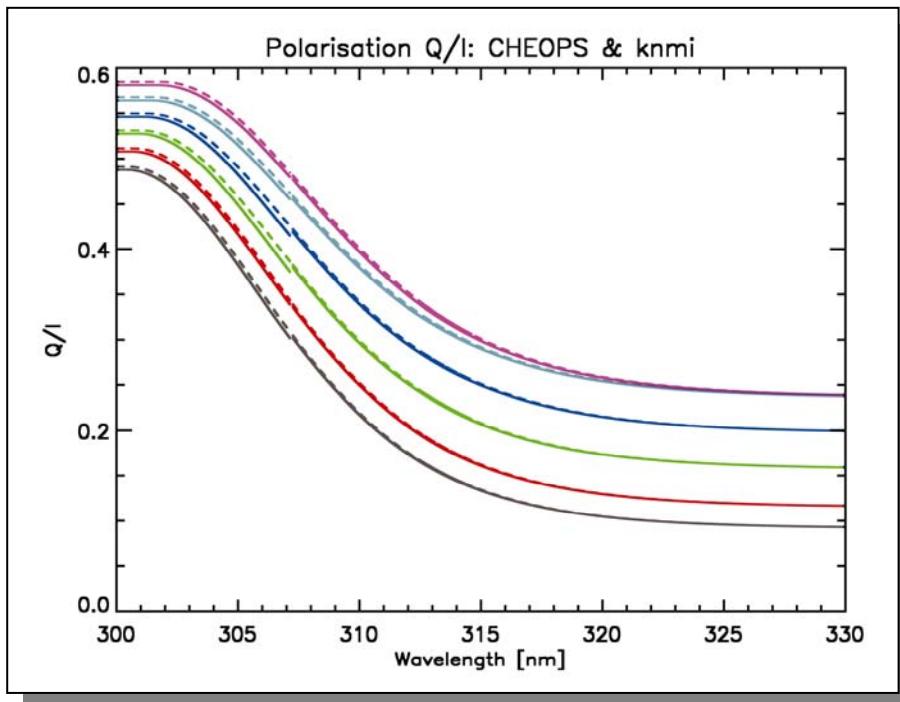


Abb. 3-5: Verlauf der Polarisation als Funktion der Wellenlänge für unterschiedlich farbig codierte GOME-Messungen. Zwischen 300 und 330 nm ändert sich die Atmosphäre von optisch dick zu optisch dünn. Dementsprechend ändert sich die Polarisation. Die geraden Linien bezeichnen Resultate des CHEOPS-Algorithmus, während die gestrichelten Linien den ursprünglichen KNMI-Ansatz verdeutlichen. Die Diskontinuität bei 307 nm wird von einer Änderung in der Integrationszeit verursacht, welche in der CHEOPS-Lösung berücksichtigt wird.

Die verbesserte GDP Software nebst Dokumentation wurde schließlich an die Teilnehmer des CHEOPS-Projekts ausgeliefert.

3.4 Entwicklung und Implementierung der Tools SciCal und SciaL1c

A. von Bargen, B. Aberle, K. Reissig, S. Slijkhuis

Im Jahr 2004 hatte ESA entschieden, das ENVISAT-Bodensegment für SCIAMACHY bzgl. der Erzeugung der Kalibrierungsdaten und ihrer Anwendung auf die SCIAMACHY-Messdaten entscheidend zu verbessern und in Übereinstimmung mit der jeweiligen Datenprozessorversion (Instrument Processing Facility – IPF) zu bringen. Auf Grund seiner Expertise im Bereich der operationellen SCIAMACHY-Datenverarbeitung erhielt deshalb IMF-AP einen Entwicklungs- und Implementierungsauftrag mit dem Ziel Software zu entwickeln, die einerseits die Erzeugung der Kalibrierungsdaten auf Basis der Level 0 Daten gewährleistet und andererseits die Generierung von Level 1c Daten, d.h. kalibrierter Spektren, durch Anwendung genau dieser Kalibrierungsdaten und -algorithmen auf Level 1b Daten ermöglicht. Das S/W-Tool für den ersten Teil wird SciCal genannt, für den zweiten SciaL1c. SciaL1c setzt damit den entsprechenden Bestandteil des Software-Pakets EnviView fort. Ein großer Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass für die jeweiligen Softwarepakete verifizierte Prototyp-Software der Datenprozessoren – aus Level 0-1b und Level 1b-2 – übernommen werden kann, wodurch sich zukünftig die Wartung der entsprechenden Tools vereinfacht, da die Software immer im gleichen Entwicklungsschritt wie die Datenprozessoren steht.

SciCal und SciaL1c innerhalb der SCIAMACHY-Datenprozessierung im ENVISAT-Bodensegment

Die Ablaufdiagramme zur Prozessierung der SCIAMACHY-Messdaten von Level 0 nach Level 1b (Abb. 3-6) illustrieren, wie SciCal innerhalb des ENVISAT-Bodensegments eingebunden ist. Zur Erzeugung von Level 1b Produkten werden neben einer Vielzahl an Eingabedaten auch die In-flight Kalibrierungsdaten benötigt. Bisher entstanden diese in der Instrument Engineering and Calibration Facility (IECF), wo sie in regelmäßigen Zeitabständen aus Level 1b Daten erzeugt, extrahiert und abgelegt sowie in die Prozessierungskette tagesaktuell (s. a. unten) eingespeist wurden. Zwei Gründe legten eine Änderung dieses Verfahrens nahe:

- Eine Abstimmung der Kalibrierungsalgorithmen zwischen dem Level 0-1b Datenprozessor und der IECF ist erforderlich. Da sich der Datenprozessor kontinuierlich weiterentwickelt, muss die IECF ebenfalls diesen Schritten angepasst werden. Erschwerend wirkt sich dabei aus, dass Datenprozessor und IECF von unterschiedlichen Gruppen zu entwickeln und zu warten sind.
- Eine Neuprozessierung der gesamten Missionsdaten bedeutet nach bisherigem Schema eine bis zu dreifache Level 0-1b Prozessierung aller Daten: Die erste zur Erzeugung vorläufiger Level 1b Produkte für die Erstellung der In-flight Kalibrierungsdaten; danach eine weitere vorläufige zur Erstellung der m-Faktoren; abschließend dann die eigentliche Level 1b Datenprozessierung. Gerade wegen des hohen Zeitaufwands sollte jede Änderung des Ablaufschemas zum Ziel haben, die In-flight Kalibrierungsdaten bereits aus Level 0 Produkten zu extrahieren.

Der neue Ablauf zur Level 0-1b Datenprozessierung sieht deshalb vor, dass SciCal die Erzeugung der In-flight Kalibrierungsdaten basierend auf Level 0 Daten übernimmt und diese in die IECF einspeist. Um eine möglichst große Übereinstimmung der Algorithmen zwischen dem Level 0-1b Datenprozessor und SciCal zu erreichen, wurden wesentliche Elemente aus dem Prototyp des Datenprozessors übernommen. Auf diesem Wege kann eine Verbesserung im Prototyp des Datenprozessors nach erfolgreicher Verifikation direkt in eine neue Version von SciCal eingebunden werden. Das modifizierte Ablaufschema ist in Abb. 3-7 dargestellt. SciCal und die IECF bilden nach außen eine Einheit. Der wesentliche Unterschied ist die direkte Einspeisung von Level 0 Daten zur In-flight Kalibrierung.

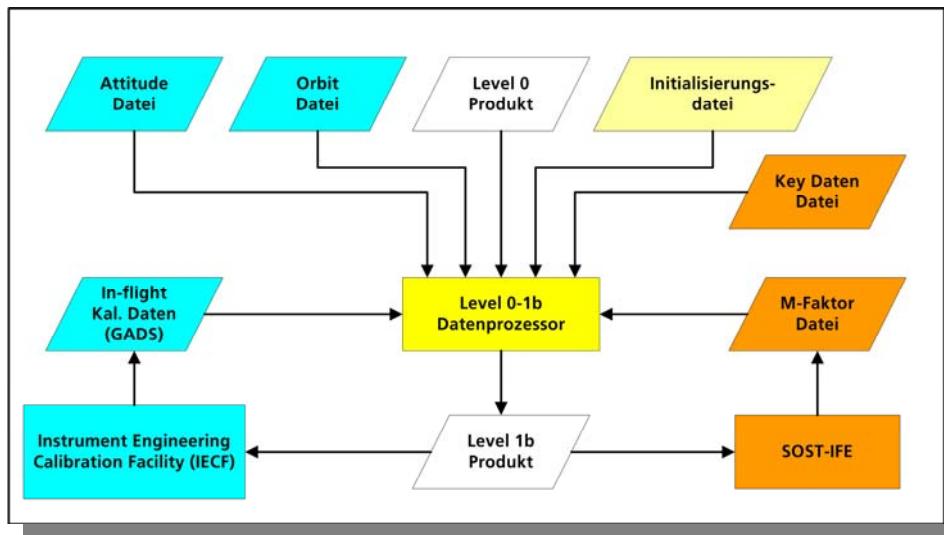


Abb. 3-6: SCIAMACHY- Datenprozessierung Level 0 nach 1b vor der Integration von SciCal. Die In-flight Kalibrierungsdaten werden aus Level 1b Datenprodukten erzeugt.

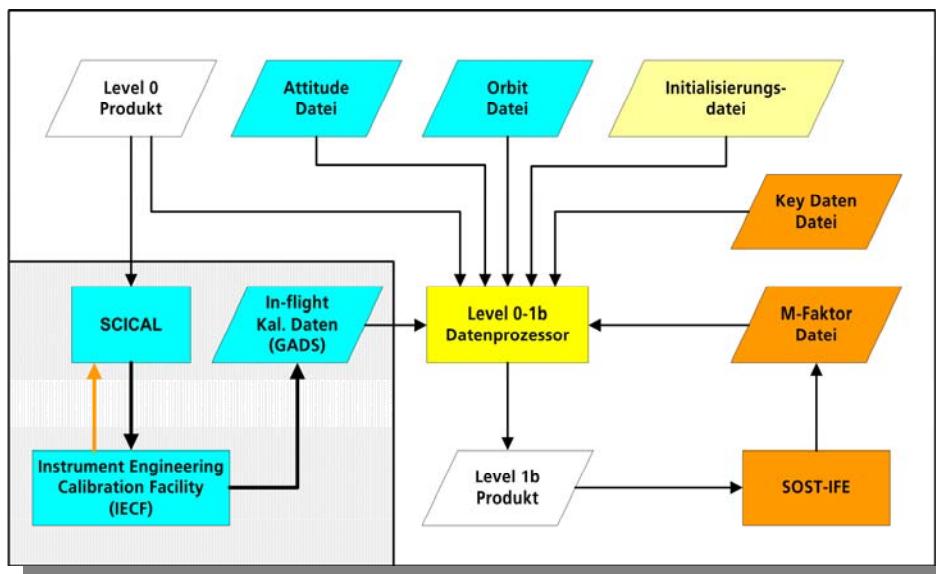


Abb. 3-7: SCIAMACHY- Datenprozessierung Level 0 nach 1b nach der Integration von SciCal. Die Erzeugung der In-flight Kalibrierungsdaten aus Level 1b Produkten ist durch Rückgriff auf Level 0 Daten ersetzt worden.

SciaL1c ist kein Element des ENVISAT-Bodensegments, sondern ein Tool, das Datennutzern zur Verfügung gestellt wird, um sich aus Level 1b Daten eigenständig Level 1c Daten zu erzeugen. Dabei werden die Nutzer durch eine Vielzahl von Optionen, welche die Auswahl von Datenausschnitten oder Kalibrierungsschritten betreffen, unterstützt. Da L1c Daten nicht zwingend vollständige Orbits überdecken bzw. nur teilweise eine Anwendung der Kalibrierungsalgorithmen enthalten, werden solche Level 1c Daten auch „Child“-Produkte genannt. SciaL1c wurde entsprechend der Anforderungen von ESA aufgebaut und enthält als Mindestmenge die Funktionalität, die auch in der Vorgängersoftware EnviView enthalten ist. Auch SciaL1c übernimmt die algorithmische Funktionalität aus dem Prototypen des Datenprozessors, hier Level 1b-2, sodass in SciaL1c immer die jeweils aktuellsten Algorithmenversionen – selbstverständlich nach einer eingehenden Verifikation im Rahmen des Datenprozessors – bereitstehen. Damit existiert auch bei SciaL1c ein konsistenter Zustand.

Funktion von SciCal

Aufgabe von SciCal ist die Berechnung der In-flight Kalibrierungsdaten. Diese sind in den Prozessierungsablauf wie in Abb. 3-8 gezeigt eingebunden. Es werden vier verschiedene Kalibrierungsdateien (siehe Tabelle 3-1) kontinuierlich aus Level 0 Produkten erzeugt und anhand ihrer Gültigkeit, welche sich aus dem Zeitpunkt der Erzeugung und vorgegebenen Regeln ergibt, in der Level 0-1b Prozessierung angewandt.

Zusätzlich zu diesen vier Dateien wurde neu eine dynamische Dead & Bad Pixel Mask (DBPM) implementiert. Sie beruht auf einer Kombination von zwölf Filtern, die auf spezifizierte Messwerte anzuwenden ist. Da die ursprüngliche Entwicklung bei SRON auf Datenwerten aufbaut, die entweder im Prozessor nicht verfügbar oder nicht sinnvoll sind, wurden die Filterkriterien von IMF-AP entsprechend adaptiert. Nun ist es auch möglich, mit Hilfe von SciCal durch Verknüpfung einzelner Orbita eine DBPM aus mehreren Orbiten zu erzeugen.

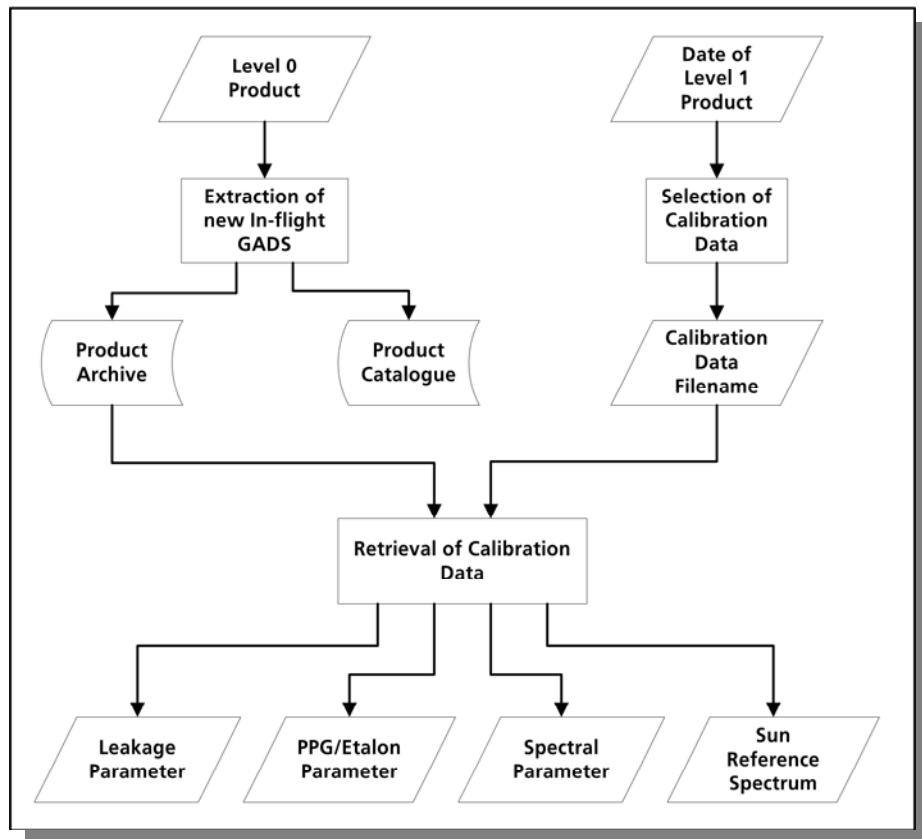


Abb. 3-8: Auswahl der In-flight Kalibrierungsdaten in der Level 0-1b Prozessierung

Implementierung von SciCal

Generelle Vorgabe war, die Algorithmen aus der bisherigen IECF zu übernehmen und in Ergänzung eine dynamische DBPM zu implementieren. Da die Algorithmen der IECF von Level 1b Datenprodukten ausgehen, sind prinzipiell zwei Vorgehensweisen vorstellbar:

- Neuentwicklung der Algorithmen direkt auf Basis der Level 0 Daten
- Integration der Teilalgorithmen aus dem Level 0-1b Prozessor, welche notwendig sind, um die jeweiligen Korrekturen zu bestimmen.

Da der erste Weg einen sehr hohen Aufwand bzgl. Entwicklung und Verifikation sowie Abstimmung zu bisherigen IECF-Algorithmen bedeutet hätte, wurde schließlich der zweite Weg eingeschlagen. Dabei beschränkt sich die Level 0-1b Prozessierung auf die reinen Kalibrierungsdaten des Level 0 Produkts und der Anwendung der entsprechenden Algorithmen.

Typ	Dateiname (Kern)	Inhalt
Dunkelstrom	SCI_LK1_AX	Parameter zum Dunkelstromabgleich, bestehend aus einem konstanten Anteil und einem über den Orbit variablen Anteil
PPG/Etalon	SCI_PE1_AX	Parameter zur Korrektur des Pixel-to-Pixel Gains der Detektoren, zur Korrektur eventueller Etalonstrukturen im Spektrum und zur Maskierung von ausgefallenen Detektorenpixel (Dead & Bad Pixel Mask)
Spektrale Kalibrierung	SCI_SP1_AX	Parameter zur Wellenlängenkalibrierung der Spektren
Mittleres Sonnenspektrum	SCI_SU1_AX	gemittelte, kalibrierte und unkalibrierte Spektren aus Messungen über ein oder mehrere Orbits, die gegen die solare Quelle über verschiedene Instrumenteneinstellungen vorgenommen wurden

Tab. 3-1: In-flight Kalibrierungsdateien (GADS)

Weitere Rahmenbedingungen bildeten die Schnittstelle zur IECF sowie die Vorgabe, SciCal operationell ohne permanente Steuerung durch einen Operator ablaufen zu lassen. Da es einen erheblichen Aufwand bedeutet hätte, SciCal direkt in das Bodensegment zu integrieren, wird weiterhin die IECF als Schnittstelle zur Level 0-1b Datenprozessierung benutzt, insbesondere da die Funktionalität der Datenbank für die In-flight Kalibrierungsdaten und die Monitorfunktion bei der IECF verbleibt. Ein autonomer Ablauf wird schließlich dadurch erreicht, dass das Tool automatisiert sowohl die Level 0 Daten in die eigene interne Prozessierung einspeist als auch die entsprechenden Daten an die Schnittstelle zur IECF zurückgibt.

Um SciCal mit der erforderlichen Flexibilität betreiben zu können, geschieht dessen Initialisierung über eine Datei mit Angaben zu den Kalibrierungsparametern, der dynamischen DBPM und dem allgemeinen Prozessierungsablauf. Für jeden Parametersatz ist es möglich, Gültigkeitszeiträume zu spezifizieren. SciCal erlaubt außerdem die Bestimmung von Kalibrierungsparametern aus mehreren Level 0 Produkten, weshalb zusätzlich eine eigene interne Datenbank für die In-flight Kalibrierungsdaten (ADF) eingerichtet wurde. Damit ist auch ein Off-line Betrieb außerhalb der operationellen Kette zur Erzeugung von speziellen ADF-Sätzen, beispielsweise im Falle von Re-Prozessierungskampagnen, möglich.

Der Gesamtablauf von SciCal ist in Abb. 3-9 schematisch wiedergegeben. SciCal erhält als Eingangsdaten neben den Inputdateien zur Level 0-1b Prozessierung die SciCal-Initialisierungsdatei sowie – optional – alle bisher erzeugten ADFs. Die Inputdateien sind in der linken Spalte des Diagramms dargestellt. Der eigentliche Ablauf lässt sich vereinfacht beschreiben als eine Berechnung der Kalibrierungsmessdaten aus dem Level 0 Produkt zu einem temporären Level 1b Produkt mit nachfolgender Anwendung der einzelnen Korrekturenableitungen für die ADF. Entsprechend der Gültigkeitsregeln aus der Initialisierung werden die Resultate anschließend in die neu erzeugte ADF geschrieben. Zusätzlich erfolgt eine Weitergabe an die IECF sowie die Ablage in der internen Datenbank.

Da SciCal kontinuierlich ablaufen soll, wurde der eigentlichen Prozessierung eines Level 0 Datenprodukts ein „Polling“-Prozess vorgeschaltet, welcher in einem vorgegebenen Unterverzeichnis nach vorhandenen Level 0 Produkten sucht, gefundene Level 0 Produkte aus diesem Verzeichnis in ein Arbeitsverzeichnis verschiebt und die eigentliche Prozessierung auslöst. Dieser permanente Prozess kann in zwei Modi betrieben werden – in einem Modus zur Benutzung im Zusammenspiel mit der IECF im operationellen Bodensegment oder in einem Modus zur Abarbeitung eines umfangreichen vorgegebenen Stapels von Level 0 Datenprodukten ohne Zusammenspiel mit der IECF.

Integration von SciCal

SciCal wurde im Berichtsjahr 2005 erfolgreich von ESA abgenommen. Durch die Übernahme in den operationellen Betrieb mit der kommenden IPF Version 6.0 wird SciCal Bestandteil des ENVISAT-Bodensegments werden, wobei IMF-AP für die kontinuierliche Weiterentwicklung und Pflege der Software zuständig sein wird.

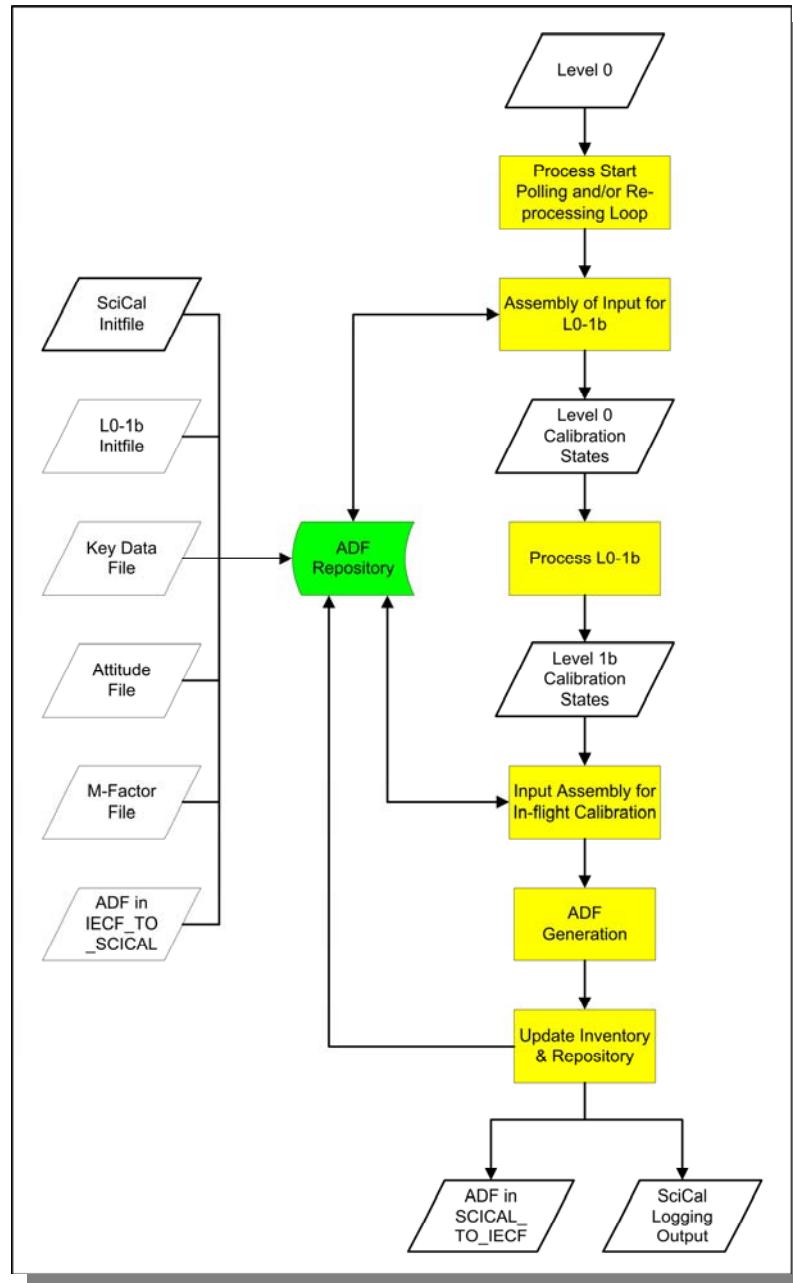


Abb. 3-9: *SciCal*-Ablaufdiagramm einschließlich ADF Repository und Input

Funktion von SciaL1c

SciaL1c ist ein Tool, das Datennutzern zur Extraktion von kalibrierten Spektren zur Verfügung gestellt wird. Da viele Nutzer in der Anwendung auf bestimmte Datenprodukte fokussiert sind, ist das Tool mit einer Vielzahl an Optionen ausgestattet (siehe Tab. 3-2). So ist z.B. die Extraktion von Orbitausschnitten anhand von geographischen, zeitlichen oder Messungsartvorgaben möglich. Weitere Optionen ermöglichen es dem Nutzer bestimmte Kalibrierungsalgorithmen an- bzw. auszuschalten, sodass er für seine individuelle Anwendung auch eigene Kalibrierungsanwendungen benutzen kann.

Implementierung von SciaL1c

Der Algorithmenkern von SciaL1c wurde dem Level 1b-2 Datenprozessor (Off-line) entnommen, weshalb bei einer Fortentwicklung der Algorithmen im Datenprozessor eine schnelle Adaption dieses Nutzertools erfolgen kann. Damit stimmen Funktionalitäten in Prozessor und Tool nicht nur weitgehend überein, sondern ermöglichen immer eine möglichst rasche Verfügbarkeit der aktuellsten Version des Tools. Schließlich wurde SciaL1c vervollständigt, indem das bisherige Level 1c Datenmodell für die Ausgabe integriert wurde und der Algorithmenkern durch eine Optionssteuerung ergänzt wurde. SciaL1c steht auf den Plattformen Linux und Sun Solaris (Version 2.8) zur Verfügung.

Option	Aufruf	Beschreibung
Hilfe	-h	Auskunft über mögliche Optionen und deren Kombinationen
Nadir-Messungen	-nadir	Extraktion nur von Nadir-States
Limb-Messungen	-limb	Extraktion nur von Limb-States
Cluster	-clus <>	Extraktion von angegebenen Clustern
Nadir-Cluster	-nadircus <>	Extraktion von angegebenen Nadir-Clustern
Limb-Cluster	-limbclus <>	Extraktion von angegebenen Limb-Clustern
Monitoring-Cluster	-moniclus <>	Extraktion von angegebenen Monitoring-Clustern
Occ.-Cluster	-occclus <>	Extraktion von angegebenen Occultation-Clustern
Liste	-list	Auflistung von Information über einen Orbit
kein Cluster	-noclus	Keine Extraktion von Clustern
Kalibrierungsdaten	-allcal	Extraktion von allen Kalibrierungsdaten
Messdatentyp	-<type>	Extraktion eines Messtyps (nadir, limb, occ)
Kalibrierungsdaten	-cal <0-9>	Anwendung eines Kalibrierungsalgorithmus (0 = kein)
Ausgabedatei	-out	Name der Ausgabedatei
Datensatz	-ds	Auswahl des Datensatzes
Startzeit	-starttime	Auswahl eines Zeitfensters (Beginn) (nur in Kombination mit Option -stoptime)
Endzeit	-stoptime	Auswahl eines Zeitfensters (Beginn) (nur in Kombination mit Option -starttime)
Bodenpixelecke	-topleft	Auswahl eines geographischen Ausschnitts („links oben“) (nur in Kombination mit Option -bottomright)
Bodenpixelecke	-bottomright	Auswahl eines geographischen Ausschnitts („rechts unten“) (nur in Kombination mit Option -topleft)
Messkategorie	-cat <>	Extraktion einer Messkategorie
Polarisierungsdaten	-fracpol	Extraktion der fraktionellen Polarisierung
PMD-Daten	-pmd	Extraktion der Messwerte der PMD-Detektoren

Tab. 3-2: Optionen zum Aufruf von SciaL1c

3.5 Status SCIAMACHY-Datenprozessoren Level 0-1b und Level 1b-2

A. von Bargen, B. Aberle, A. Doicu, S. Hilgers, K. Kretschel, M. Hess, F. Schreier, T. Schröder, S. Slijkhuis, S. Wahl

Das Jahr 2005 war für die Entwicklung der SCIAMACHY-Datenprozessoren mit einigen Weichenstellungen verbunden, die zu Beginn 2006 zu einer entscheidenden Verbesserung der Qualität der Datenprodukte führen soll. Diese Änderungen fanden unter den Rahmenbedingungen des ENVISAT Payload Data Segments (PDS) statt, wobei die Entwicklung der Datenprozessoren für den Level 0-1b wie auch Level 1b-2 Schritt in IMF-AP angesiedelt ist. Wir implementieren und warten außerdem den SCIAMACHY Level 1b-2 Off-line Datenprozessor, welcher im deutschen Prozessierungs- und Archivierungszentrum (D-PAC) im Auftrag der ESA betrieben wird. Die PDS-Vereinbarungen sehen vor, die Entwicklung der Near-Real-Time (NRT) und Off-line (OL) Datenprozessorensysteme zusammengefasst vorzunehmen. Dabei bildet der Prototyp des OL-Datenprozessors für Level 1b-2 die Grundlage beider Implementierungen, sowohl NRT als auch OL. Zusätzlich zu den Implementierungsaufgaben nimmt IMF-AP die Funktion als Expert Support Laboratory (ESL) für SCIAMACHY wahr.

Die Prozessierung von Level 0 nach 1b wurde in seiner Struktur unter wesentlicher Mitwirkung des SCIAMACHY-Datenverarbeitungsteams in IMF-AP umgestellt und verbessert. Der neue Ansatz und die damit verbundenen Entwicklungsleistungen sind in Kapitel 3.4 dieses Jahresberichts beschrieben. Zusätzlich konnte der am Ende des Vorjahres fertig gestellte Prototyp des Level 0-1b Prozessors der Verifikation durch andere wissenschaftliche Institute unterzogen und erfolgreich abgeschlossen werden. Auf Grund des Wunsches des Auftraggebers ESA, noch Korrekturen zur Lagebestimmung (Attitude) zu implementieren, verzögerte sich jedoch die Integration ins operationelle Bodensegment. Der erfolgreiche Abschluss der operationellen Implementierung durch unseren industriellen Partner war schließlich am Ende des Berichtsjahres mit einem Factory Acceptance Test erfolgt, sodass eine Integration im ersten Quartal 2006 nichts im Wege steht. Drei wesentliche Weiterentwicklungen innerhalb des Level 0-1b Datenprozessors sind zu erwähnen:

- Korrektur des Memory Effects der einzelnen Detektoren-Pixel
- Korrektur des nicht-linearen Signalverhaltens der Detektoren
- Berechnung des Dunkelstroms, der vom gemessenen Signal vor einer Auswertung abgezogen werden muss

Insbesondere erwarten wir signifikante Auswirkungen dieser Verbesserungen auf die Auswertung der IR Nadir-Spektren.

Auch der Level 1b-2 OL-Datenprozessor wurde in wesentlichen Teilen weiterentwickelt. Nachdem eine erste Version der eigens ausgearbeiteten Verfahren zur Bestimmung von Spurengasprofilen von SCIAMACHY-Messungen in Limb-Beobachtungsgeometrie im Vorjahr integriert worden war, konzentrierten sich die Tätigkeiten im Jahr 2005 hierzu auf eine Verfeinerung der Modelfunktion und der Verfahren zur Bestimmung der Regularisierungsmatrix. Daneben wurde durch Einführung einer großen Bandbreite von Diagnoseverfahren ein Retrievalpaket geschaffen, das erlaubt, den Prozessor mit unterschiedlichen Inversionsverfahren, Modelfunktionsansätzen sowie Regularisierungsmethoden zu betreiben. Vier solcher kombinierten Ansätze durchliefen sehr erfolgreich eine externe Verifikation. Inzwischen sind weitere Verbesserungen, gerade auf dem Gebiet der Vorwärtsmodellierung, umgesetzt worden (siehe Kapitel 3.7).

Ein zusätzlicher Schwerpunkt unserer Arbeiten lag im Berichtszeitraum auf der Integration des dem GOME-Datenprozessor (Version 4.0) zugrunde liegenden Algorithmus in den Level 1b-2 Prozessor. Dabei wurde zur Bestimmung von Höhe und Albedo an Wolkenoberkante – abweichend von der Implementierung für GOME – der Algorithmus SACURA der Universität Bremen integriert. SACURA bestimmt im sichtbaren Spektralbereich aus der Sauerstoff A-Bande die Wolkenparameter *Höhe* und *optische Dichte*. Diese Parameter sind, anders als bei der Ableitung mit anderen existierenden Algorithmen, echte und keine effektiven Wolkenparameter. Dabei ist SACURA mit dem in IMF-AP entwickelten Verfahren OCRA zur Bestimmung der Wolkenbedeckung verknüpft. Die Software-Integration des GDP 4.0 konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Momentan untersucht unser belgisches Partnerinstitut BIRA die Kompatibilität des modifizierten Prozessors mit SCIAMACHY-

Messdaten. Ebenfalls ausstehend ist die Verifikation der abgeschlossenen SACURA-Integration. Auch diese ist im Jahr 2006 geplant.

Bisher beschränkt sich der operationelle Level 1b-2 Datenprozessor auf den UV/VIS-Spektralbereich. Um das große Potenzial des IR-Bereichs ebenfalls zu nutzen, wurden Weiterentwicklungen an einem verbesserten Verfahren für die Auswertung der IR-Messungen in Nadir-Beobachtungsgeometrie vorangetrieben. Ziel dieser Tätigkeiten ist, den Modellansatz zu verbessern, sodass hier die Modellannahmen auf physikalische Größen zurückgreifen können und nicht auf „closure terms“ wie im ursprünglichen Algorithmus, der im Rahmen eines externen Kontrakts entstanden war. Der nun gewählte Ansatz wird im Jahr 2006 intensiv verfolgt, um eine operationelle Implementierung möglichst im gleichen Jahr zu gewährleisten.

3.6 DPQC – Ein Link von der Datenprozessorentwicklung zum operationellen Betrieb

A. von Bargen, S. Slijkhuis, B. Aberle, K. Reissig

Die Abkürzung „DPQC“ steht für *Data Processing and Quality Control*. Unter dieser Bezeichnung hat sich ein Konsortium im Auftrag der ESA gebildet, um Teile des operationellen Betriebs, die Fortentwicklung der operationellen Datenprozessoren (IPFs) und des Bodensegments sowie die Qualitätskontrolle aller ESA-Produkte für alle Erdbeobachtungsmissionen durchzuführen. Dieser Ansatz ergibt sich aus dem Bestreben der ESA, sich selbst auf die Managementrolle, die Einbindung zukünftiger Missionen und die strategische Fortentwicklung zu beschränken, während das „Tagesgeschäft“ von Konsortien bearbeitet wird.

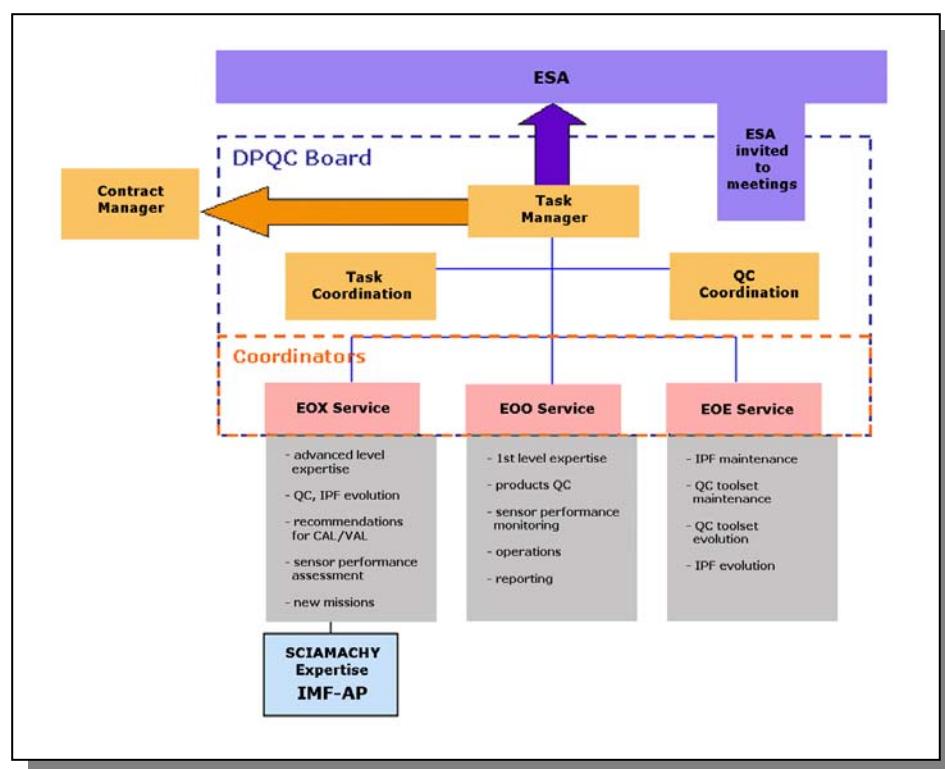


Abb. 3-10: Organisationsstruktur des SCIAMACHY DPQC-Konsortiums

Das DPQC-Konsortium behandelt einen weiten Bereich der EO-Bodensegmente. IMF-AP ist Teil dieses Konsortiums, wobei das SCIAMACHY-Datenverarbeitungsteam sein Expertenwissen einbringt. DPQC setzt sich generell aus den Gruppen

- EOE: zuständig für die Implementierung, Integration und Wartung der IPFs und des Bodensegments
- EOO: zuständig für den operationellen Betrieb einschließlich eines Online-Monitorings der Datenprodukte anhand vorgegebener Kriterien

- EOX: versammelt die Expertengruppen zu den einzelnen Instrumenten zusammen.

IMF-AP leistet innerhalb des DPQC seinen Beitrag durch Mitarbeit innerhalb von EOX und unterstützt den operationellen Betrieb durch „Second Level Support“ für SCIAMACHY. Darin werden Fragen zur Kalibrierung, Prozessierung und zu Anomalien sowie Helpdesk-Anfragen beantwortet. Weiterhin übernimmt IMF-AP nach Absprache mit dem Konsortialführer auch jeweils anfallende Sonderaufgaben. Dazu zählte im vergangenen Jahr 2005 die Neugenerierung der Kalibrierungshilfsdateien der gesamten Mission für eine Reprozessierung der Datenprodukte auf Basis verbesserter Prozessorenversionen.

Die Aufgaben im DPQC sind für uns eine Erweiterung des Aufgabenspektrums hinsichtlich des operationellen Betriebs, ergänzen aber auch die schon innerhalb SOST (siehe Beitrag in Kap. 3.9) geleisteten Beiträge. Mit DPQC eröffnet sich für IMF-AP auch der Zugang zu weiteren Informationen aus dem operationellen Betrieb von SCIAMACHY sowie anderer Sensoren auf ENVISAT.

3.7 SCIAMACHY Limb-Retrieval Prozessor

A. Doicu, S. Hilgers

Im Rahmen des SCIAMACHY-Projektes wurde im abgelaufenen Jahr ein effizienter Algorithmus für Limb-Retrieval entwickelt. Er beinhaltet vier Regularisierungsmethoden

- stochastische Tikhonov Regularisierung
- iteratives Regularisierte Gauss-Newton Verfahren
- Levenberg-Marquardt Verfahren
- Information-Operator Methode.

Die stochastische Tikhonov Regularisierung ist eine Verallgemeinerung der Optimal Estimation Methode oder des Bayesian-Ansatzes und benutzt eine stochastische Regularisierungsmatrix. Der Regularisierungsparameter, der eine Balance zwischen den einschränkenden Nebenbedingungen und der Residuumsumme darstellt, wird mit Hilfe der L-Kurve-Methode oder der verallgemeinerten Kreuzvalidierungs-Methode bestimmt.

Im Gegensatz zu der stochastischen Tikhonov Regularisierung wird im Rahmen des Iterativen Regularisierten Gauss-Newton Verfahrens eine monoton fallende Folge von Regularisierungsparametern angewendet. Die Bestimmung dieser Regularisierungsparameter erfolgt durch eine Analyse der Residuumsumme bei jedem Iterationsschritt.

Das Levenberg-Marquardt Verfahren benutzt ebenfalls einen stochastischen Straf-Term, wobei bei jedem Iterationsschritt der a priori Zustandsvektor durch den berechneten Iterationsvektor ersetzt wird. Die Auswahl des Regularisierungsparameters erfolgt durch eine Analyse im Datenraum und beruht auf der Anwendung der Discrepancy-Methode für die Residuumsumme des entsprechenden linearisierten Problems.

Die Information-Operator Methode schließlich ist eine Tikhonov-Projektionsmethode, wobei bei jedem Iterationsschritt der Iterationsvektor auf den effektiven Zustandsvektoraum projiziert wird. Diese Methode hat sich als sehr effizient für Messungen mit großem Rauschen und unterbestimmten Regularisierungsparametern erwiesen.

Auf dem SCIAMACHY Algorithm Development and Data Usage (SADDU) Meeting am 17. Februar 2005 bei IMF-AP wurden die entwickelten theoretischen Grundlagen und die daraus resultierenden praktischen Ergebnisse beim Retrieval ausgewählter Orbits im Kreis der SCIAMACHY-Validierungs- und Datennutzungsgruppen vorgestellt. Die Güte der Verfahren und die Qualität der damit erstellten Datenprodukte für die Spurengase O₃ und NO₂ wurden im Juni 2005 beim Offline Verification Meeting bei IUP/IFE, Universität Bremen, bestätigt. Dafür wurden die an der Universität Bremen entwickelten Prozessoren STRATOZONE und SCIATRAN als Referenz angewendet. Der STRATOZONE-Prozessor benutzt ein Datenmodell, das auf der differentiellen Absorptionsstruktur des Ozons in der Chappuis-Bande beruht, während der SCIATRAN-Prozessor ein Levenberg-Marquardt-Projektionsverfahren ist.

Abb. 3-11 verdeutlicht exemplarische Ergebnisse für O₃- und NO₂-Retrieval. Der mittlere Fehler für die ausgewählten Verifikationsorbits liegt unter 10%.

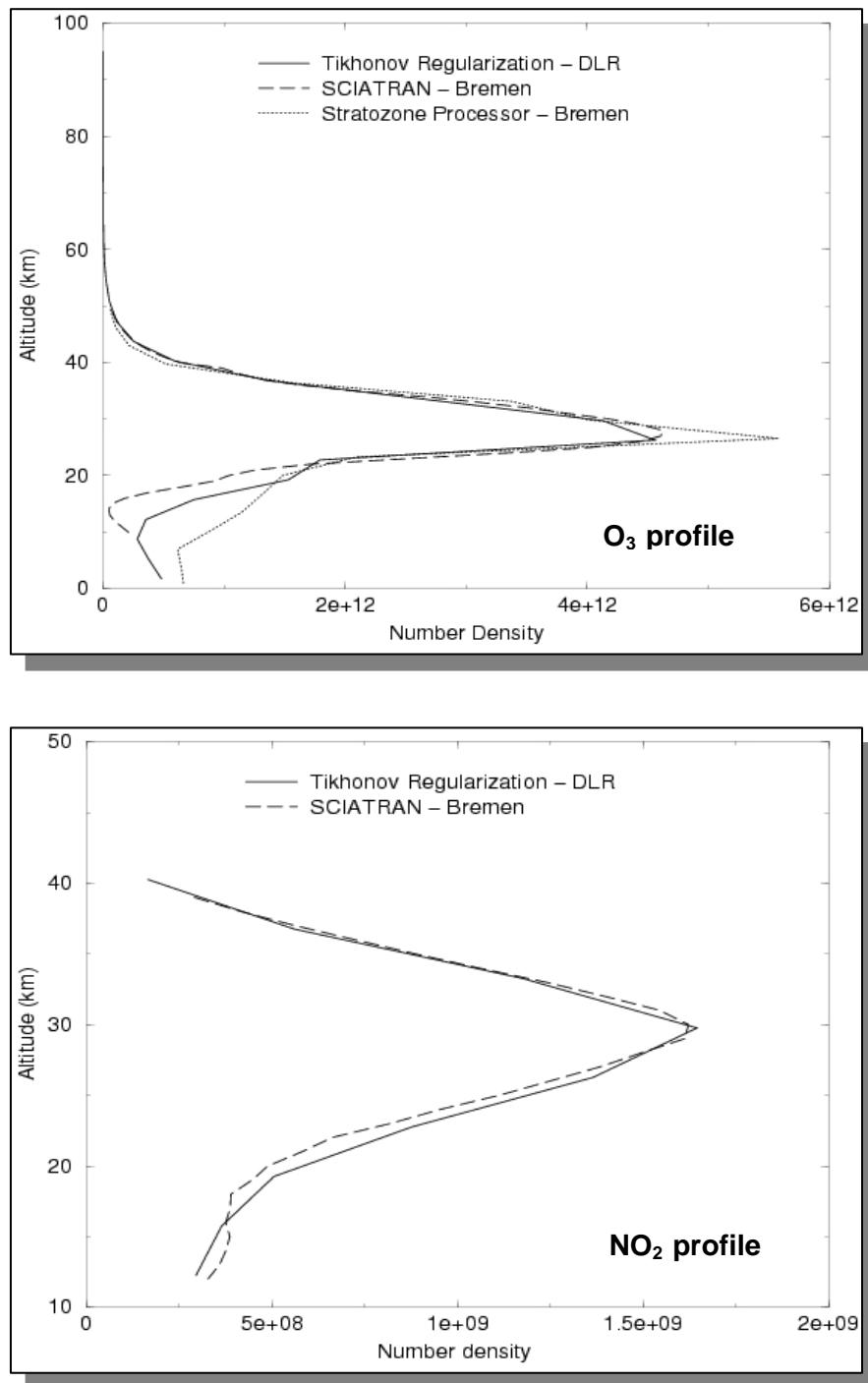


Abb. 3-11: Exemplarische Ergebnisse für den Vergleich der Profile für O₃ (oben) und NO₂ (unten)

3.8 Nadir-Algorithmen für den SCIAMACHY-Infrarotbereich

F. Schreier, M. Hess

Neben den bereits bei GOME bewährten UV-Kanälen verfügt SCIAMACHY auch über zwei Kanäle im kurzweligen Infrarot ($\lambda = 1.934\text{-}2.044 \mu\text{m}$, $v = 4900\text{-}5155 \text{ cm}^{-1}$ und $\lambda = 2.259\text{-}2.386$, $v = 4200\text{-}4415 \text{ cm}^{-1}$), die im Nadir-Beobachtungsmodus für die Bestimmung der vertikalen Gesamtsäulendichte von CO, CH₄, N₂O sowie H₂O genutzt werden. Zentraler Bestandteil der Level 1-2 Prozessierung im sog. BIAS-Algorithmus (Basic Infrared Absorption Spectroscopy) ist dabei ein nichtlinearer Least-Squares-Fit zur Schätzung der Skalierungsfaktoren von geeigneten Referenz-Dichteprofilen sowie der Koeffizienten eines Polynoms der Wellenlänge zur Modellierung nicht explizit berücksichtigter Effekte. Die dem Fit zugrunde liegende Modellfunktion, welche an das beobachtete Spektrum angepasst wird, besteht im Wesentlichen aus dem Faltungintegral der instrumentellen Responsefunktion mit der Gas-Transmission entlang des gesamten optischen Weges Sonne-Erdboden/Wolke-Satellit entsprechend dem Beer-Gesetz. Die wesentliche Vereinfachung dieser in Analogie/Verallgemeinerung zum DOAS-Algorithmus gewählten Funktion liegt in der Vernachlässigung der Streuung, welche nach Sensitivitätsstudien am IUP/IFE, Universität Bremen, durchaus einige 10% zur am Sensor einfallenden Strahldichte beitragen kann. Des Weiteren werden in der gegenwärtigen Version des Prozessors die Bodenreflexion nicht explizit berücksichtigt sowie die Breite und Form der Spaltfunktion als gegeben vorausgesetzt.

Um den Einfluss dieser beiden Näherungen abschätzen zu können, ist das bei IMF-AP entwickelte Prototype Retrieval System (PyReS, vgl. Kapitel 3.6 im Jahresbericht 2002) zusammen mit dem hochauflösenden Line-by-Line Infrarot-Strahlungstransportmodell MIRART (Modular InfraRed Atmospheric Radiative Transfer, vgl. Kapitel 3.9 im Jahresbericht 2003) auf ausgewählte States des Orbit 2509 (August 2002) angewendet worden. Neben den Gassäulen wurden dabei die Halbwertsbreite der Spaltfunktion und die Bodenreflexion als zusätzliche Fit-Parameter zugelassen. Sowohl für das kurzwellige (CH₄, N₂O und H₂O) wie auch für das langwellige (CO, CH₄ und H₂O) Fenster im Kanal 8 lieferten alle beobachteten Spektren eines States dabei in der Regel nur geringfügige Schwankungen der Breite innerhalb einiger Prozent. Der Vergleich verschiedener Spaltfunktionen ergab im kurzweligen Fenster im Falle der Lorentzfunktion in der Regel größere Residuen und auch größere N₂O- (im Mittel um einen Faktor 2) und CH₄-Säulen, während die Gaussfunktion und die hyperbolische Funktion vergleichbare Säulen liefern. Auch im langweligen Fenster liefern Gauss und hyperbolische Funktion annähernd ähnliche CO- und CH₄-Säulen. Wird die Breite der Spaltfunktion auf dem über den State gemittelten Wert festgehalten, so ergeben sich nur geringfügige Abweichungen bei den angepassten Gassäulen, bei verdoppelter bzw. halbiertem Breite weichen die ermittelten Säulen jedoch beträchtlich von den bei variabler Breite angepassten Säulen ab. Diese Abweichung erreichte für den Fall verdoppelter Breite bei N₂O im Mittel einen Faktor 10. Abschließend wurde die zeitliche Entwicklung der Spaltfunktion untersucht: während sich die Breite der Spaltfunktion innerhalb des Orbit 2509 nur um wenige Prozent verändert, so ergaben sich für den Orbit 13473 (September 2004) um bis zu 50 % breitere Spaltfunktionen.

Bei der Untersuchung der Spaltfunktion war auch die Güte des Least-Squares-Fits, welche durch das Residuum (Differenz von beobachtetem und modelliertem Spektrum) bzw. dessen Norm charakterisiert wird, von Interesse. Der Vergleich der Fits des operationellen BIAS-Codes und des PyReS-MIRART-Prototypen zeigte durchweg deutlich größere Abweichungen der BIAS-Spektren von den SCIAMACHY-Spektren, während die mit MIRART modellierten Spektren die gemessenen Spektren gut reproduzieren.

Ergänzende Studien zu den für die SCIAMACHY-IR-Kanäle relevanten spektroskopischen Liniendaten zeigten beträchtliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Versionen der HITRAN-Datenbank.

Wesentliche Schlussfolgerungen dieser Untersuchungen sind:

- auf Grund der deutlichen Auswirkungen falscher Spaltfunktionen (Form und Breite) sowie ihrer zeitlichen Variabilität ist zumindest in regelmäßigen Abständen die Breite der Spaltfunktion im Fit zu bestimmen.
- ein flexiblerer Least-Squares-Algorithmus mit einem genaueren, weniger drastisch vereinfachenden Vorwärtsmodell lässt eine bessere Fit-Qualität erwarten.

Der auf den sog. Numerical Recipes (Press et al. 1986) beruhende nichtlineare Least-Squares-Algorithmus ist in mehrfacher Hinsicht suboptimal: das linearisierte Teilproblem wird mit Hilfe der Normalen-Gleichung gelöst, wobei die Gauss-Eliminierung für das entstehende Gleichungssystem die

Symmetrie vernachlässigt. Zudem wird die unterschiedliche Größenordnung der anzupassenden Parameter (Skalierung) nicht berücksichtigt. Auch die Berechnung des Modellspektrums einschließlich seiner Ableitungen kann in mehrfacher Hinsicht effizienter gelöst werden.

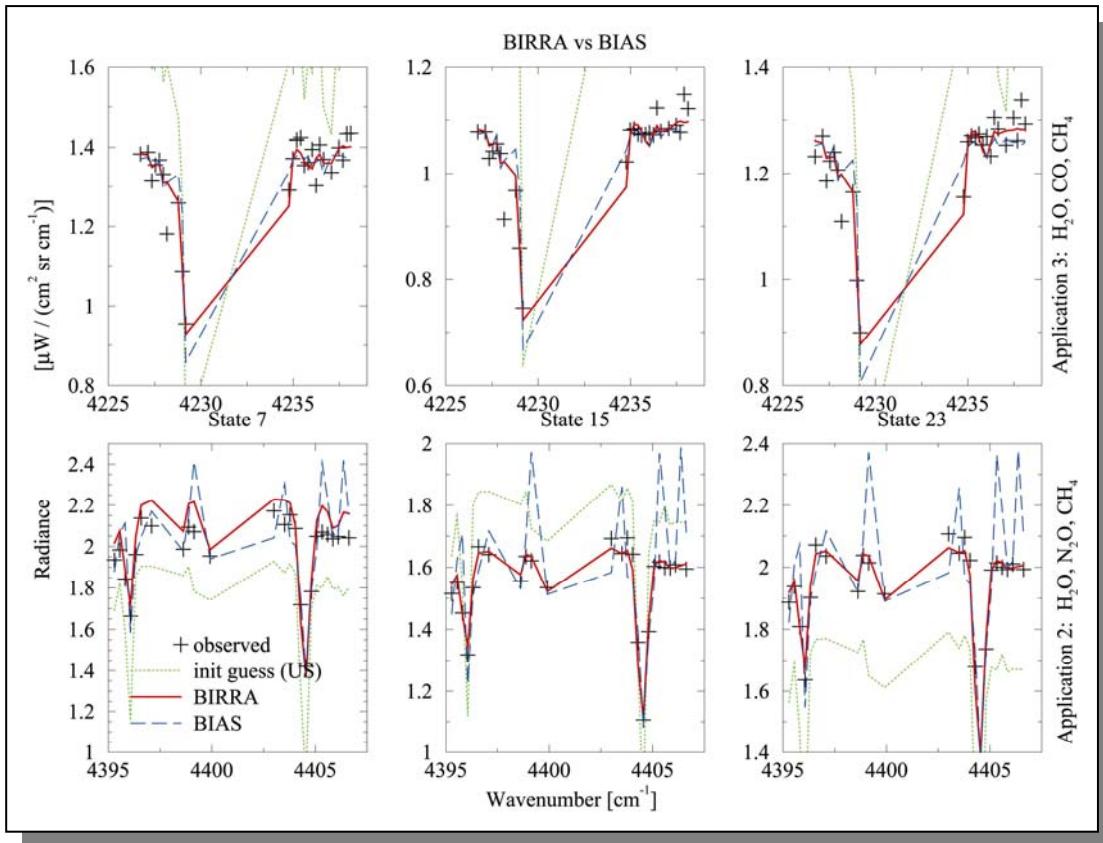


Abb. 3-12: Vergleich gefitterter und beobachteter SCIAMACHY-Spektren im Kanal 8 – BIRRA versus BIAS (Erläuterungen siehe Text)

Um die genannten Nachteile auszugleichen, wurde daher mit der Weiterentwicklung bzw. Verbesserung des BIAS-Codes begonnen: Wesentliche Aspekte des neuen BIRRA-Code (Better InfraRed Retrieval Algorithm) sind:

- Nonlinear Least Squares basierend auf Optimierungs routinen der PORT-Library (*Dennis et al. 1981*): Die verwendeten Routinen beruhen auf modernen, numerisch robusten Implementierungen des Levenberg-Marquardt *trust region* Algorithmus und ermöglichen optional die Berücksichtigung einfacher Schranken, z.B. Positivität.
- Eine wesentliche, im gegenwärtigen BIAS jedoch nicht direkt gefittete Größe mit erheblichem Einfluss auf das Spektrum ist die Bodenreflektion, welche linear in das Vorwärtsmodell eingeht und somit die Verwendung eines separablen nonlinear Least-Squares nahelegt.
- Das Vorwärtsmodell (Strahlungstransfermodell) muss flexibel genug sein, um die Absorptionsquerschnitte, z.B. wegen verbesserter Spektraldaten, veränderter Micro-Windows oder anderer Druck- und Temperatur-Profile, neu berechnen zu können.
- Erweiterungsmöglichkeit des Vorwärtsmodells bzgl. (Einfach)streuung
- Möglichkeit zum Fit instrumenteller Parameter wie Spaltbreite oder Baseline.

Abbildung 3-12 illustriert einen Vergleich einiger mit BIRRA bzw. mit BIAS gefitteten Modellspektren und beobachteten Spektren des SCIAMACHY Orbits 2509, State 03.

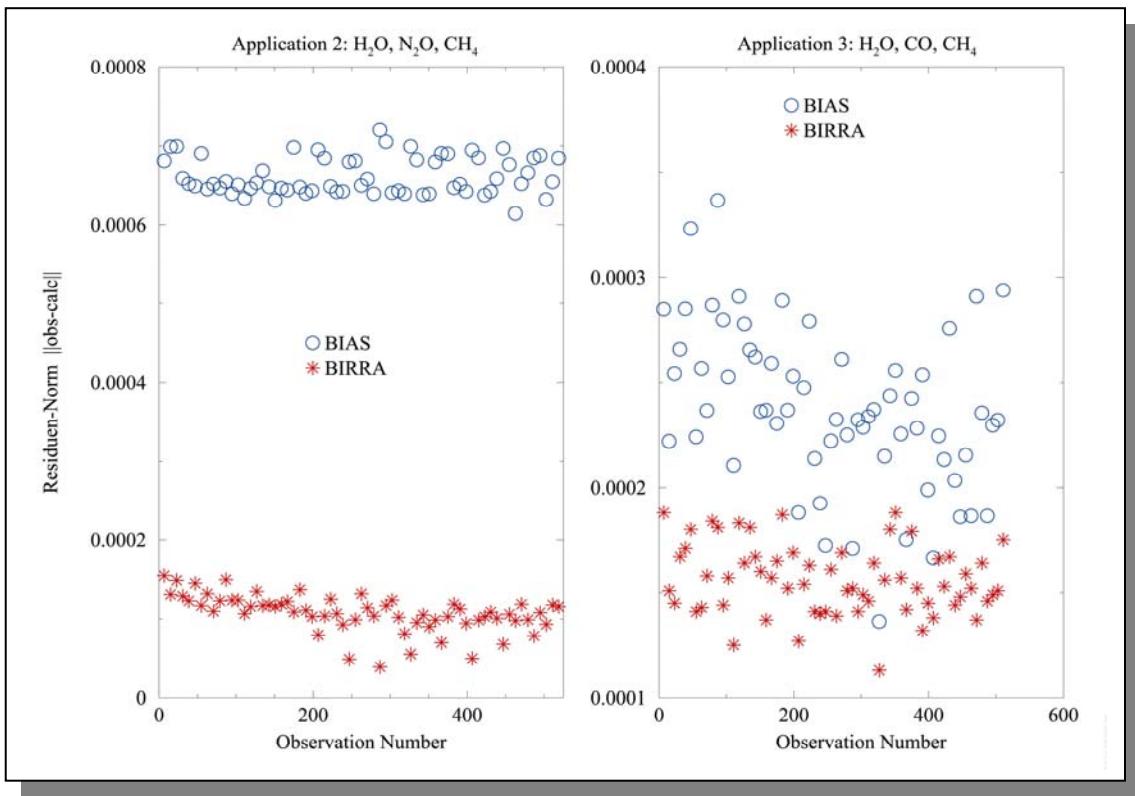


Abb. 3-13: Vergleich der Residuen-Norm (Abstand Mess- minus Modell-Spektrum) für alle Beobachtungen des SCIAMACHY Orbit 2509, State 3 im NIR Kanal 8. Im momentanen operationellen BIAS wird neben den Vertikal-Säulen der drei Gase ein einparametrischer „closure term“ angepasst, in BIRRA dagegen neben den Gasen (optional) Bodenalbedo (Reflektion), Breite der Spaltfunktion sowie Basislinie gefittet.

zitierte Literatur:

J.E. Dennis, D.M. Gay, and R.E. Welsch: An Adaptive Nonlinear Least-Squares Algorithm, ACM - Trans. Math. Software 7, 348-368, 1981

Press, W.H., S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery: Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Cambridge, University Press, 1986

3.9 SCIAMACHY Operations Support

M. Gottwald, E. Krieg, K. Reissig, J. How (DFD-IT)

Im Berichtszeitraum befand sich SCIAMACHY bereits das 4. Jahr im Orbit. Wie in den zurückliegenden Jahren bestand unsere Aufgabe darin, das Instrument möglichst ohne Ausfallzeiten nach den wissenschaftlich-technischen Anforderungen zu betreiben. Dieses Ziel wurde in vollem Umfang erreicht. Sowohl im Bereich Missionsplanung als auch bei Langzeitüberwachung und Pflege des Instrumentstatus wurde der Routinebetrieb derart durchgeführt, dass ein kontinuierlicher Strom von qualitativ hochwertigen Messdaten gewonnen werden konnte.

Betriebsstatistik

Die Verfügbarkeit des Instruments war im Jahr 2005 in mehr als 98% der möglichen Orbits gegeben (Abb. 3-14). Innerhalb eines Orbits waren wiederum mehr als 90% der Umlaufzeit mit Messungen, wobei die Zeiten im *Measurement Idle* Modus immer durch das Betriebskonzept entstanden. Nur zweimal kam es zu einem unerwarteten Ausfall, als im Mai die Bordelektronik jeweils infolge eines Einschlags eines hochenergetischen solaren Teilchens gestört wurde. Alle anderen Unterbrechungen beruhten auf geplanten Aktivitäten. Erfreulicherweise gelang es in beiden Fällen, die Recovery-Phase sehr kurz zu gestalten, sodass SCIAMACHY nur für kurze Zeit den Messmodus verlassen musste.

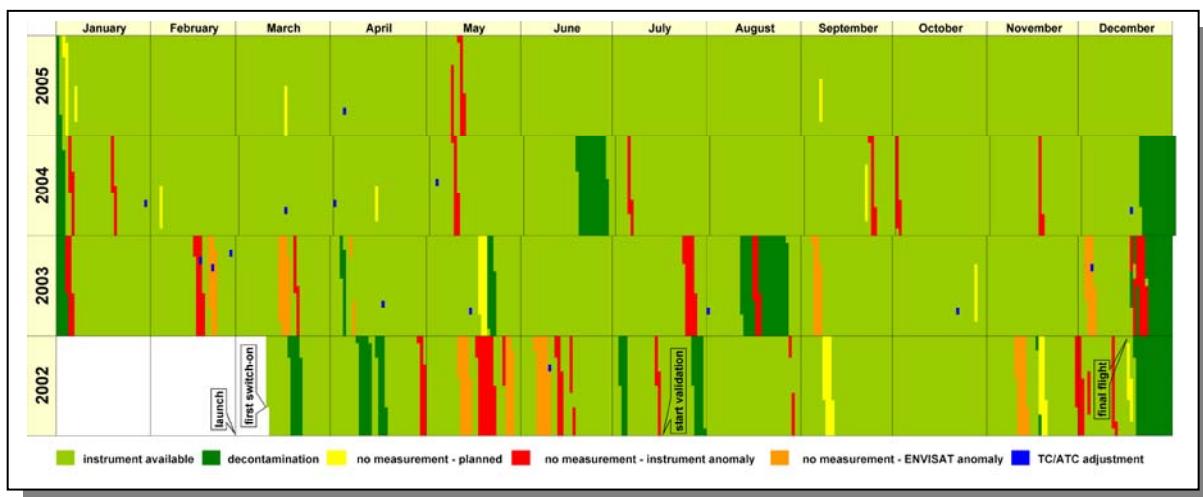


Abb. 3-14: Verfügbarkeit SCIAMACHYs seit Missionsbeginn

Routinebetrieb

Alle im Routinebetrieb anfallenden Tätigkeiten konnten ohne große Probleme erledigt werden. Die angesammelte Erfahrung, zusammen mit einem inzwischen reichhaltigen Fundus unterschiedlichster S/W-Tools, ermöglichte es, auch unerwartete Anforderungen, beispielsweise Änderungswünsche im Rahmen von *Operation Change Requests*, Untersuchungen kleiner Sichtlinienanomalien oder das Langzeitverhalten der Systeme, die den Thermalzustand der Optischen Bank bzw. der Detektoren kontrollieren, zu bewältigen.

Die SOST-Aktivitäten wurden in gewohnter Weise auf den SOST-Webseiten (<http://atmos.af.op.dlr.de/projects/scops/>) präsentiert, wobei nebenher Vorbereitungen getroffen wurden, das neue DLR-weite Konzept eines zentralen Webdienstes in Birlinghoven umzusetzen. Die Seiten erfuhren einen weiteren Ausbau, um neue SOST-Aufgaben, z.B. hinsichtlich des Level 0-Masterarchivs, entsprechend darzustellen.

Missionsverlängerung

Auf Grund des sehr guten Gesamtzustandes von ENVISAT bereitet ESA momentan die Verlängerung der Mission bis zum Jahr 2010, womöglich sogar bis 2012, vor. Unser Ziel ist es, SCIAMACHY auch in diesem Zeitrahmen ähnlich erfolgreich zu betreiben. Dazu wurde begonnen, potentielle Erweiterungen im Instrumentbetrieb zu analysieren, die sich durch eine um 100% längere Betriebsdauer ergeben können. So erreicht die Nutzung sogenannter Life Limited Items, wie Mechanismen oder Kalibrierungslampen, am Ende der bisher spezifizierten Lebensdauer teilweise ihr Limit und muss durch Modifikationen des Betriebskonzepts reduziert werden. Auch kann es nötig sein, bestimmte Komponenten, die sich in einer 5-jährigen Missionsdauer noch unkritisch verhalten, bei längerem Gebrauch einer regelmäßigen Kontrolle

zu unterziehen. Zusammen mit Astrium wird im Rahmen des industriellen Supportkontraktes eine umfassende Bestandsaufnahme des operationellen Ist-Zustandes gemacht und daraus Ergänzungen zum verlängerten Routinebetrieb abgeleitet, die bis in Modifikationen des Instrument Operation Manuals münden können.

Level 0-Masterarchiv

Die Pflege des Masterarchivs an konsolidierten Level 0-Daten wurde in der DLR-DIMS-Umgebung fortgeführt. Wie sich inzwischen ergeben hat, ist dieses Archiv das einzige im Bodensegment, in dem versucht wird, die Daten möglichst vollständig exakt so abzuspeichern, dass sie die geplanten und durchgeföhrten Messungen widerspiegeln. Dies erfordert die Nutzung konsolidierter, d.h. orbitbezogener Dateien. Gerade im Hinblick auf Langzeitaspekte und wahrscheinliche Reprozessierungskampagnen erlaubt ein derartiges konsolidiertes Archiv eine effektive Handhabung der Daten. Es haben sich bereits weitere SCIAMACHY-Nutzergruppen gemeldet, die an einer Kopie des Archivs interessiert sind.

Wegen gewisser Besonderheiten des PDS verlangt das Level 0-Masterarchiv weiterhin intensive Betreuung. Insbesondere potentielle Fehlerquellen in den gelieferten Level 0-Dateien verhindern einen vollautomatischen Transfer aus dem ENVISAT D-PAC nach DIMS. Hierzu zählen unvollständige oder fehlende Orbits, Häufung von Empfangsfehlern, die sich in den Datenprodukten niederschlagen oder asynchroner Erhalt von Dateien. In allen Fällen muss manuell in den Transferprozess eingegriffen werden. Momentan sind die Daten der Jahre 2003 und 2004, soweit vorhanden, in DIMS archiviert. Das Jahr 2005 wird mit einer Verzögerung, die durch die Anlieferungszeit definiert ist, kontinuierlich abgearbeitet. Auch Daten ab Mitte 2002 stehen nun im D-PAC zur Verfügung und fließen allmählich in das Masterarchiv. Infolge nachprozessierter fehlerhafter oder fehlender Orbits müssen auch bereits abgeschlossene Perioden immer wieder nachbearbeitet werden. All diese Tätigkeiten sind eigentlich nicht originär betriebsorientiert. Sie besitzen deshalb niedrigere Priorität und werden von uns nur bearbeitet, wenn Ressourcen verfügbar sind. Nichtsdestotrotz ist das Masterarchiv die einzige Umgebung, in der Level 0-Daten mit dem tatsächlichen Instrumentbetrieb abgeglichen werden. Die daraus resultierende Sonderstellung macht es zu einem immer mehr unverzichtbaren Werkzeug.

In den nachfolgenden Abbildungen ist der Zustand des Masterarchivs gezeigt. Für das Jahr 2003 sind, monatlich betrachtet, zwischen 0.86 und 0.98 der konsolidierten Level 0-Daten fehlerfrei vorhanden, für 2004 betragen die Werte 0.81-0.98 und der bisherige Stand für 2005 weist Verfügbarkeiten zwischen 0.74 und 0.98 auf. Üblicherweise erwartet man, dass ca. 98% oder mehr der gewonnenen Messdaten im Bodensegment empfangen und gespeichert werden. In allen Fällen, in denen dies bisher nicht erreicht ist, wird versucht, die nicht vorhandenen Dateien durch detaillierte Fehleranalyse und nachfolgendes Reprozessieren neu zu erzeugen.

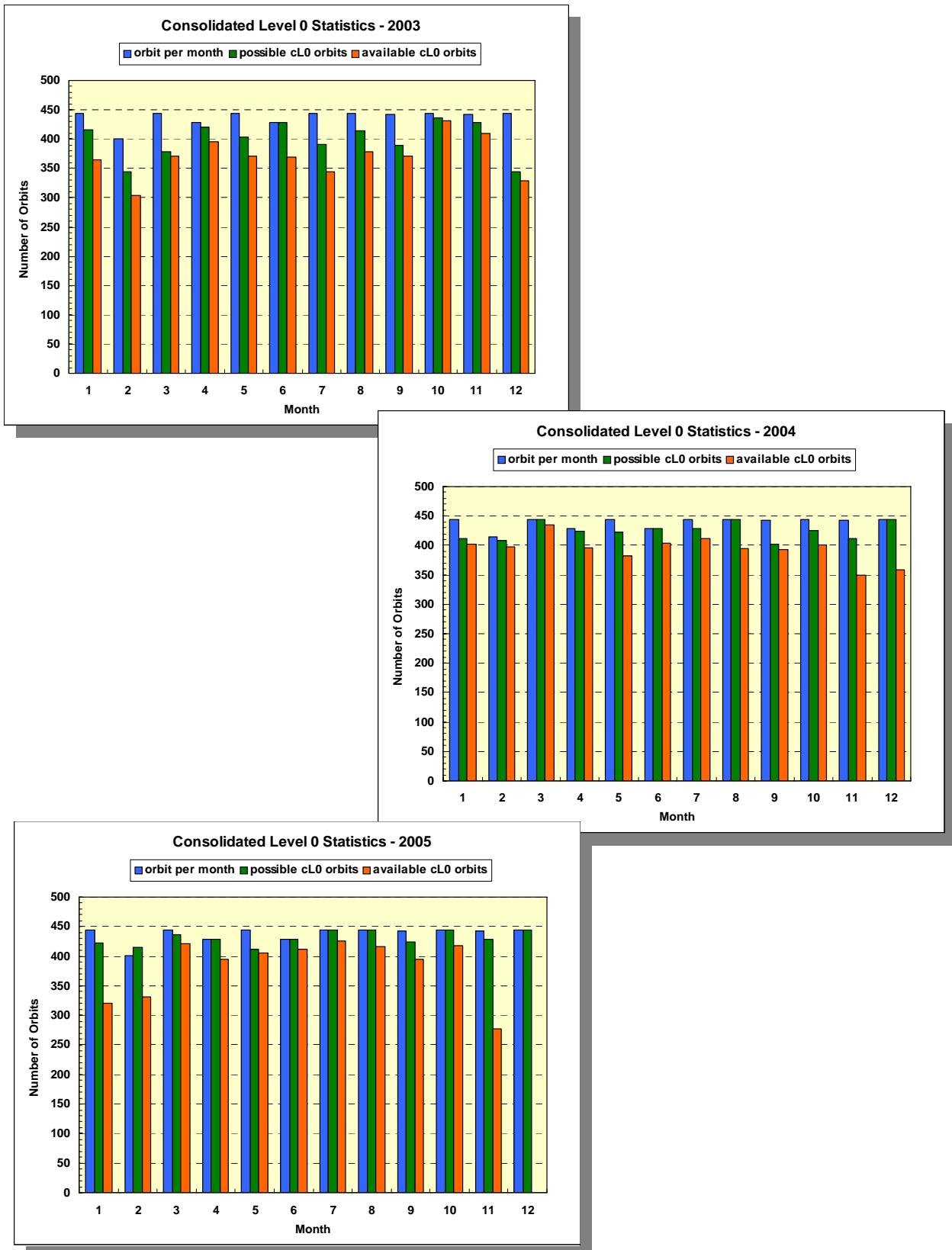


Abb. 3-15: Statistik der im Level 0-Masterarchiv vorhandenen konsolidierten Level 0-Daten (rot) für die Jahre 2003-2005. Die Gesamtzahl der Orbita pro Monat (blau) und der möglichen konsolidierten Daten (grün) ist zum Vergleich angegeben. Letztere unterscheiden sich immer dann, wenn das Instrument geplant oder ungeplant den Messmodus verlassen hat. Die Monate November/Dezember 2005 sind noch in Bearbeitung und deshalb unvollständig.

3.10 Profilformabhängige Regularisierung für MIPAS-Daten

G. Schwarz, J. Steinwagner

Bei der Ableitung von Profilen aus höhenbezogenen Spektren wird in der Regel – unabhängig vom generell verwendeten Least-Squares-Ansatz – verfahrensabhängig regularisiert, d.h. durch Verwendung von Dämpfungstermen und/oder zusätzliches Vorwissen werden Überschwinger unterdrückt.

Zum Thema *Regularisierung* gibt es eine Reihe von etablierten Ansätzen, die sich durch die zugrunde liegende Philosophie unterscheiden. Es gibt einerseits Methoden, die auf prinzipiellen Glattheitskriterien beruhen, beispielsweise Annahmen über Ableitungen, aber auch Methoden, die speziesbezogenes klimatologisches Vorwissen nutzen. Alle Methoden werden oft heuristisch eingesetzt, um anschauliche Ergebnisse präsentieren zu können. Eine systematische Untersuchung der detaillierten Verhältnisse im Einzelfall unterbleibt oft, wenn man nicht spezielle Methoden, wie das sog. L-Kurven-Kriterium verwendet. Dadurch geht man das Risiko ein, durch global oder lokal zu geringe Regularisierung Überschwinger unzureichend zu dämpfen bzw. durch global oder lokal übermäßige Regularisierung Feinstrukturen im zu retrievelnden Profil zu unterdrücken.

Im Rahmen der Dissertation von J. Steinwagner (*Steinwagner, 2004*), in der die Optimierung der Parameterauswahl beim Retrieval von Spurengasvertikalprofilen aus MIPAS-Daten der europäischen ENVISAT-Mission behandelt wurde, konnten auch Ergebnisse zur lokal adaptiven höhenbezogenen Anpassung von Regularisierungsparametern erzielt werden. Aus diesen Untersuchungen wurde im Berichtsjahr ein Ansatz entwickelt, in dem ein systematisches Vorgehen zur gezielten Auswahl von höhenabhängigen Regularisierungsparametern vorgeschlagen wird. Gleichzeitig können dabei die Auswirkungen in Bezug auf Fehler und Höhenauflösung diskutiert werden.

Grundlage der Überlegungen ist, dass die Profile der abzuleitenden Spezies in erster Näherung bereits grob bekannt sind und es sich beim Retrieval im Wesentlichen darum handelt, davon abweichende Feinstrukturen zuverlässig zu bestimmen. Für die Auswahl der Regularisierungsparameter kann man mit ausreichender Genauigkeit die klimatologische bekannte Grundform der zu retrievelnden Spezies nutzen, was zu einer profilformabhängig inversen Gewichtung beim üblichen Least-Squares-Ansatz führt. So ist ein ungestörtes Ozonprofil durch ein deutliches Maximum in der Stratosphäre gekennzeichnet, wo sehr wenig regularisiert werden muss; andererseits ist das Volumenmischungsverhältnis von Ozon in der Troposphäre deutlich niedriger – hier muss lokal stärker regularisiert werden.

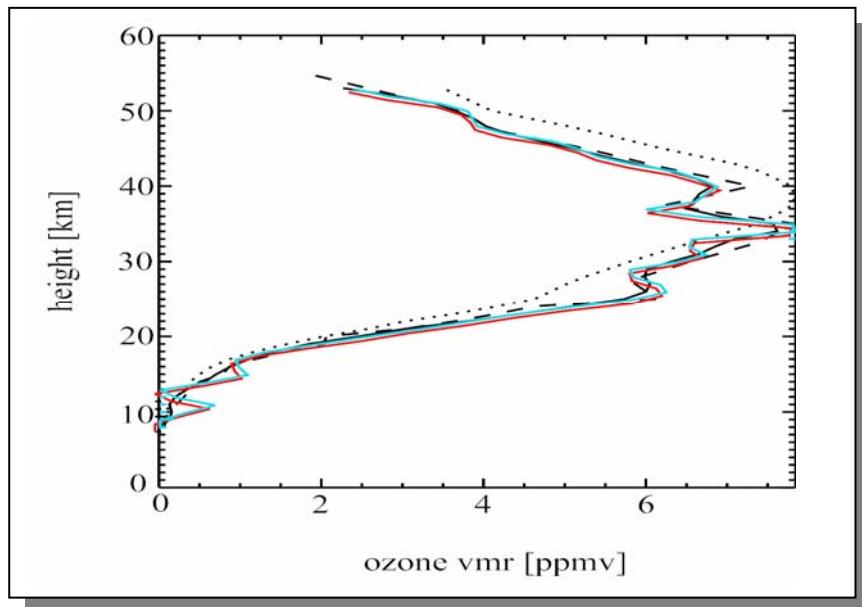


Abb. 3-16: Retrievalergebnisse eines Pseudo-Ozonprofils mit künstlichen Feinstrukturen (Details siehe Text)

Typische Ergebnisse mit profilformabhängiger Regularisierung sind in der Abb. 3-16 zu erkennen. Dort wurde mit Hilfe von simulierten Testdaten untersucht, wie sich unerwartete Feinstrukturen in Profilen

trotz Regularisierung nach dem Retrieval noch erkennen lassen. Das zugrunde liegende, mit künstlichen Zacken versehene Profil ist in der Abbildung schwarz gestrichelt dargestellt. Als Startprofil für die verschiedenen Retrievaltechniken wurde ein um fünf Kilometer nach oben verschobenes Profil verwendet, in der Abbildung gepunktet dargestellt, damit die Robustheit der Retrievaltechniken gegenüber nicht optimalen Startwerten nachgewiesen werden kann. Als alternative Retrievaltechniken wurden Optimal Estimation (rot dargestelltes Ergebnisprofil), ein Tikhonov-Verfahren (blau dargestelltes Ergebnisprofil) sowie eine profilformabhängige Regularisierung (schwarze durchgezogene Kurve) verwendet. Eine eingehende Untersuchung der relativen Abweichungen von der wahren Lösung zeigt die Vorteile der profilformabhängigen Regularisierung (Abb. 3-17).

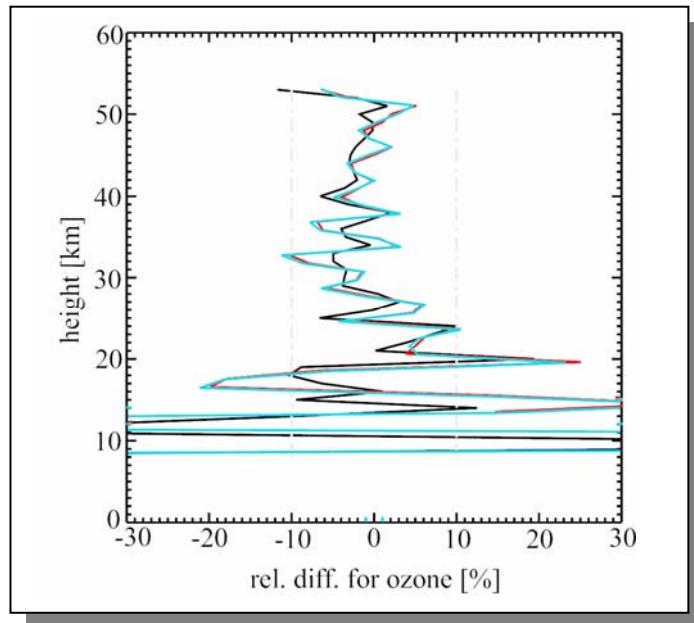


Abb. 3-17: Relative Abweichungen der retrievalten Profile von der wahren Lösung (Farbcodierung wie Abb. 3-16)

Um Gütevergleiche quantitativ durchführen zu können, wählte man bei simulierten Daten, bei denen die wahre Lösung als Profil bekannt ist, folgende Metriken (Details dazu sind in *Steinwagner und Schwarz, 2005* enthalten)

- Höhenauflösung
- Anzahl der Freiheitsgrade
- relative RMS
- absolute RMS
- maximaler Wert der geschätzten Standardabweichung.

Bei Retrievalvergleichen mit MIPAS-Daten der ENVISAT-Mission kennen wir die wahre Lösung nicht. Daher entfallen in diesem Fall die beiden RMS-Kriterien.

zitierte Literatur

Steinwagner, J.: Optimierung der Parameterauswahl für ein operationelles Off-line Retrieval von Spurengasvertikalprofilen aus MIPAS-Daten. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 166 S., 2004

Steinwagner, J., G. Schwarz: Shape-dependent regularization for the retrieval of atmospheric state parameter profiles, zur Veröffentlichung angenommen von Applied Optics, 2005

3.11 Strahlungstransfermodellierung in sphärischen Atmosphären unter Einbeziehung von Emission und Streuung

J. Mendrok

Im Rahmen einer Dissertation wurde das Strahlungstransfermodell SARTre (pseudoSpherical Atmospheric Radiative Transfer) entwickelt unter der Vorgabe, Strahlungstransfer in sphärischen Atmosphären zu modellieren sowie solare und terrestrische Quellen einzubeziehen. Thermal emittierte Strahlung und einfach gestreute Strahlung solaren Ursprungs werden durch SARTre vollständig in sphärischer Atmosphäre behandelt. Der Mehrfachstreueterm verlangt die Kenntnis des einfallenden Strahlungsfeldes. Dieses wird unter der Annahme einer lokal planparallelen Atmosphäre berechnet. Dazu wurden eine planparallele und eine pseudosphärische Version von DISORT als Solver-Module in SARTre eingebunden. Des Weiteren benutzt SARTre Module aus MIRART (Schreier und Böttger, 2003) zur Line-by-Line-Berechnung der molekularen Absorptionskoeffizienten. Optische Eigenschaften streuernder Partikel müssen extern berechnet und als Input bereitgestellt werden. Im Berichtsjahr konzentrierten sich die Arbeiten vor allem auf die Verifikation und Validierung von SARTre.

Verifikation

Die Verifikation des Modells erfolgte anhand einer Reihe von Modellvergleichen. Ein geeignetes Referenzmodell, welches sowohl die solare als auch thermische Quellen einbezieht und ein sphärisches Erde-Atmosphäre-System beherrscht, stand nicht zur Verfügung. Daher wurde die Strahlungstransfermodellierung im solaren und im thermalen Bereich getrennt getestet. Hintergrund dieser Vorgehensweise ist, dass bei monochromatischer Betrachtung des Strahlungstransfers die beiden Quellen nicht interagieren, weshalb trotz separater Verifikation auf korrekte Modellierung auch im Überlappbereich solarer und thermaler Strahlung (ca. 2.5 – 4.0 μm) geschlossen werden kann.

Der Strahlungstransfer mit solarer Quelle wurde im Vergleich mit dem Backward Monte Carlo Modell McScia (Spada et al., 2005) getestet. Verglichen wurden Limb-Spektren verschiedener Tangentenhöhen im Bereich der Ozonabsorption im UV sowie in einer reinen Rayleigh-Atmosphäre, jeweils kombiniert mit vollständig absorbierendem sowie vollständig reflektierendem Untergrund. Sonnenstände wurden in Zenit und Azimut variiert. Differenzen der Strahldichten des Einfachstreuanteils lagen – außer im Falle extrem flacher Sonneneinfallsinkel – deutlich unter 1%, unter Einbeziehung des Mehrfachstreuanteils abhängig von der Tangentenhöhe zwischen 2-6%. Maximale Differenzen traten bei steil einfallendem Sonnenlicht in Kombination mit vollständig reflektierendem Boden auf und erreichten bis zu 40%. Die pseudosphärische Näherung ist in diesen Fällen nicht ausreichend, ihre Fehler verstärken sich hier gegenseitig.

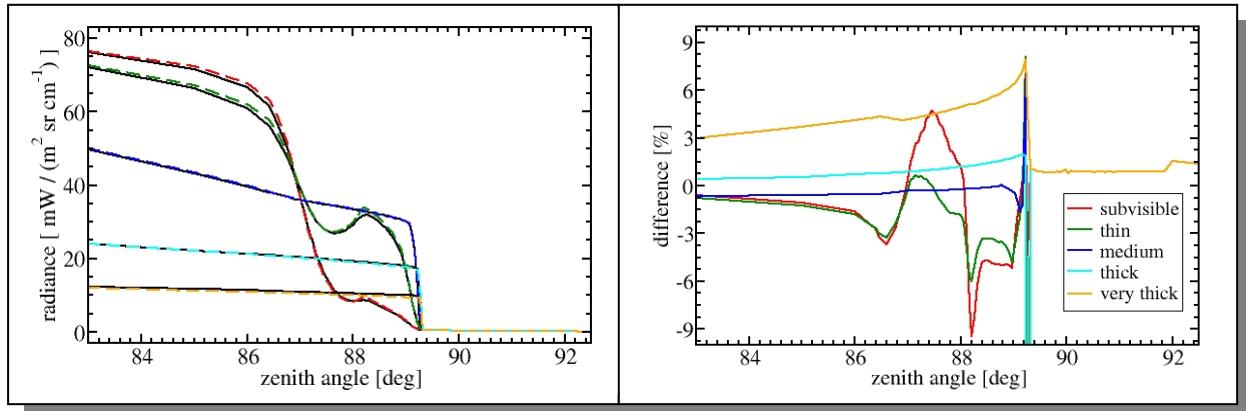


Abb. 3-18: Links – SARTre-Strahldichten über der Wolke im Limbbereich bei optisch verschiedenen dicken Wolken (Farbzuzuordnung siehe Legende). ARTS-Strahldichten sind jeweils in schwarz unterlegt. Rechts – Zugehörige relative Differenzen ARTS–SARTre. Die pseudosphärische Näherung ist verantwortlich für die Differenzen zwischen $\sim 85^\circ$ – 88° . Die Muster bei 88.2° und 89.2° sind auf Abweichungen im Setup der Wolke zwischen beiden Modellen zurückzuführen. Die schlechtere Übereinstimmung bei sehr dicker Wolke resultiert u.a. aus Problemen des iterativ arbeitenden Streumoduls in ARTS im Falle dicker Wolken.

Die Verifikation der Strahlungstransfermodellierung im Bereich terrestrischer Strahlung wurde im Vergleich mit den Modellen MIRART, KOPRA (Stiller, 2000) und ARTS (Emde, 2004) durchgeführt.

Den größten und komplexesten Teil davon nahm die Verifikation der Streukomponenten in Gegenüberstellung mit ARTS ein, für die Strahlungsfelder in planparalleler und sphärischer Atmosphäre sowie Limbspektren verglichen wurden. Die Testfälle enthielten streuende Eiswolken verschiedener optischer Dicke („subvisible“ bis komplett „opak“) und Einfachstreualbedo. Maximale Abweichungen in Folge der pseudosphärischen Näherung traten im Falle stark streuernder, optisch dünner Wolken auf (Abb. 3-18).

Validierung

Infrarot-Strahlungstransfermodelle, die auch Streuung modellieren, können beispielsweise zur Ableitung von Eigenschaften von Wolken genutzt werden. Von großem Interesse sind dabei hohe, aus Eisteilchen bestehende Wolken wie polare Stratosphärenwolken (PSC) und Zirren, über deren Bedeutung hinsichtlich des globalen Energiehaushalts und des Klimas bisher wenig bekannt ist. Im Infrarotbereich wurden schon bislang zur Ableitung von Temperatur- und Spurengasprofilen bevorzugt Limbbeobachtungen genutzt. Diese können auch für die Fernerkundung hoher Wolken gute Dienste leisten. Limbbeobachtungen sind durch lange Sichtwege durch die Atmosphäre charakterisiert. Auf Grund dessen ist es möglich, auch sehr dünne Eiswolken zu detektieren, die für nadir- und schräg schauende Instrumente unterhalb der Sichtbarkeitsgrenze liegen. Die Kombination thermisches Infrarot – Limbbeobachtung – Streuung an hohen Wolken stellt eine der aktuellen Herausforderungen in der Atmosphärenfernerkundung dar. Sie ist damit eine ideale Möglichkeit, das Potential des Strahlungstransfermodells SARTre aufzuzeigen.

Zur Validierung von SARTre wurden MIPAS-Limbbeobachtungen simuliert und realen MIPAS-Spektren gegenübergestellt. Aus dem Datenbestand des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) wurde ein Scan vom 17. Juli 2003 über der arabischen Halbinsel ausgewählt, dessen Sweep 13 (nominale Tangentenhöhe 15 km) deutliche spektrale Signaturen zeigt, die nur durch hohe Wolken hervorgerufen sein können:

- die Kontinuumsbereiche des Spektrums weisen deutlich erhöhte Strahldichten auf,
- im Bereich beispielsweise der Wasserlinien, die in dieser Höhe „normalerweise“ in Form relativ schmaler Emissionslinien in Spektren auftreten, werden breitere Absorptionslinien beobachtet. (vgl. Abb. 3-19)

Für die Validierung wurden drei spektrale Fenster ausgewählt. Ihre Gemeinsamkeit besteht darin, dass sie jeweils mindestens eine Wasserlinie enthalten. In Hinblick auf mögliche Ableitbarkeit von Informationen zu Teilchendichte, Teilchengröße und evtl. auch Teilchenform wurden die Fenster über den Bereich der Eisabsorptionsbande im atmosphärischen Fenster um 10 μm verteilt: je ein Spektralbereich liegt im Zentrum der Absorptionsbande (um 830 cm^{-1}), in deren Flanke (um 950 cm^{-1}) und außerhalb der Absorptionsbande (um 1225 cm^{-1}). Die Modellierung mit SARTre basiert auf am IMK abgeleiteten Gas- und Temperaturprofilen. Die optischen Eigenschaften der Eisteilchen wurden der Datenbank von *Yang et al. (2005)* entnommen, wobei zunächst Eissäulen angenommen wurden. Die Größenverteilung der Eispartikel wurde entsprechend der auf *Heymsfield und Platt (1984)* beruhenden Parametrisierung von *Liou (1992)* bestimmt.

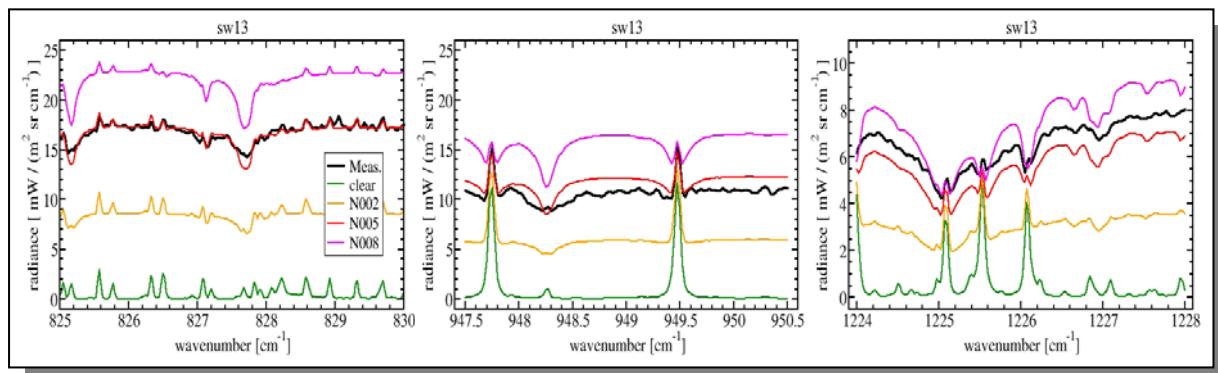


Abb. 3-19: Gemessenes MIPAS-Spektrum (schwarz) im Vergleich zu SARTre-modellierten Strahldichten für Limbbeobachtung mit nominaler Tangentenhöhe 15 km (Sweep 13) in den drei ausgewählten Fensterbereichen. In grün ist die Simulation für den clear sky Fall dargestellt, in Rottönen optisch verschieden dicke Zirren ($\tau = 0.002\text{--}0.008$). Bei ca. 828 cm^{-1} , 948 cm^{-1} und 1225 cm^{-1} sind die Wasseremissions- (im clear sky Fall) bzw. Absorptionslinien (in den Wolkenfällen und dem Messspektrum) sichtbar.

Abb. 3-19 zeigt die aktuellen Simulationsergebnisse, in denen zunächst die optische Dicke der Zirruswolke soweit wie „manuell“ möglich bestimmt werden sollte, im Vergleich zu den gemessenen Spektren. Die Simulation für Wolke N005 mit einer optischen Dicke von $\tau=0.005$ stimmt sowohl für einzelne spektrale Merkmale (Wasserabsorptionslinien) als auch außerhalb der Linien im Kontinuumsbereich in allen drei spektralen Fenstern recht gut mit der Messung überein. Diese geschätzte optische Dicke liegt im Bereich von subvisiblen Zirren und korrespondiert damit mit zeitnah am selben Ort aufgenommenen MODIS-Daten, auf deren Grundlage keine Zirren detektiert wurden.

Weitere Untersuchungen zeigen, dass die Möglichkeiten des beschriebenen Verfahrens bei Weitem noch nicht ausgeschöpft sind. So reagieren die Spektren sehr sensitiv auf die angenommene Teilchengrößenverteilung und die Teilchenform. Auch könnten mit Sicherheit unter Einbeziehung der folgenden Sweeps (mit geringeren Tangentenhöhen) des gleichen Scans und bei Anwendung verfeinerter Retrievalmethoden weitere Eigenschaften der Wolke präziser bestimmt werden.

Zitierte Literatur

- Emde, C.: A polarized discrete ordinate scattering model for radiative transfer simulations in spherical atmospheres with thermal source, Dissertation, Universität Bremen, 2004*
- Heymsfield, A.J., C.M.R. Platt: A parameterization of the particle size spectrum of ice clouds in terms of the ambient temperature and the ice water content, J. Atmos. Sci., 41, 846-855, 1984*
- Liou, K.-N.: Radiation and Cloud Processes in the Atmosphere, Oxford University Press, S.192ff, 1992*
- Schreier, F., U. Böttger: MIRART, a line-by-line code for infrared atmospheric radiation computations incl. derivatives, Atmos. & Oceanic Optics, 16, 262-268, 2003*
- Spada, F.; M.C. Krol, P. Stammes: McScia: Application of the Equivalence Theorem in a Monte Carlo radiative transfer model for spherical shell atmospheres, Atmos. Chem. Phys. Disc., 2005, submitted*
- Stiller, G.P. (Ed.): The Karlsruhe Optimized and Precise Radiative Transfer Algorithm (KOPRA), Wissenschaftliche Berichte, Forschungszentrum Karlsruhe, FZKA 6478, 2000*
- Yang, P., H. Wei., H.-L. Huang, B.A. Baum, Y.X. Hu, G.W. Kattawar, M.I. Mishchenko, Q. Fu: Scattering and absorption property database for nonspherical ice particles in the near- through far-infrared spectral region, Appl. Opt., 44:26, 2005*

3.12 Abschluss von COBI/DEKLIM und Ausblick

G. Schwarz, A. Drescher

Im Projekt COBI („Der Cold Bias in Modellen der Allgemeinen Atmosphärischen Zirkulation“; Koordinator: Prof. R. Sausen, DLR-Institut für Physik der Atmosphäre, Details siehe Jahresberichte 2003 und 2004) sollte versucht werden, die Ursache von in globalen Klimamodellen systematisch zu niedrig modellierten Temperaturen im Bereich der extra-tropischen Tropopause zu finden. Im Jahr 2005 fand das Projekt mit der Präsentation der COBI-Abschlussergebnisse beim DEKLIM-Abschluss-Symposium, (10.-12. Mai in Leipzig) sein erfolgreiches Ende.

Der Anteil von IMF-AP an COBI bestand in der Bereitstellung klimatologischer Wasserdampfprofile aus MIPAS-Messungen. Die Profile wurden als Monatsmittel in vorab definierten Breiten- und Längenintervallen erzeugt. Neben Wasserdampfprofilen wurden auch andere Spurengase analysiert, um weitere Effekte zu untersuchen. Sehr eindrucksvoll fällt in den Ergebnissen vor allem die Unterschiedlichkeit der atmosphärischen Verhältnisse einzelner Spezies auf der Nord- und Südhalbkugel in spiegelbildlichen Jahreszeiten auf. Exemplarisch verdeutlicht dies Abb. 3-20 anhand von Temperaturprofilen.

Aufbauend auf die für COBI benutzte Software wurde der Kerndatensatz von MIPAS im Nominalbetrieb, der den Zeitraum von Dezember 2002 bis November 2003 abdeckt, mit einem leicht modifizierten Breitenbereichsraster und bezogen auf dreimonatige Mittelwerte nochmals prozessiert. Diese neu erzeugten Profil-Mittelwerte wurden als Übersichten benutzt, um die Validierung von MIPAS innerhalb der von der ESA dafür ins Leben gerufenen Arbeitsgruppe zu unterstützen und die abschließenden Ergebnisse besser zu verstehen. Dabei wurden nicht nur Mittelwerte von Temperatur und Ozon, sondern

auch RMS-Statistiken der Profilverläufe (d.h. Wurzeln aus den Abstandsquadrate von den Mittelwerten geteilt durch Anzahl der Profile) zusammengestellt und mit bereits vorliegenden Klimatologien der Universität Leicester verglichen. Es ergaben sich sowohl sehr gute Übereinstimmungen als auch Unterschiede der beiden Datensätze. Die endgültigen Resultate wurden schließlich Ende 2005 im Rahmen der MIPAS-Validierung vorgestellt und sollen in eine ACP-Veröffentlichung einfließen.

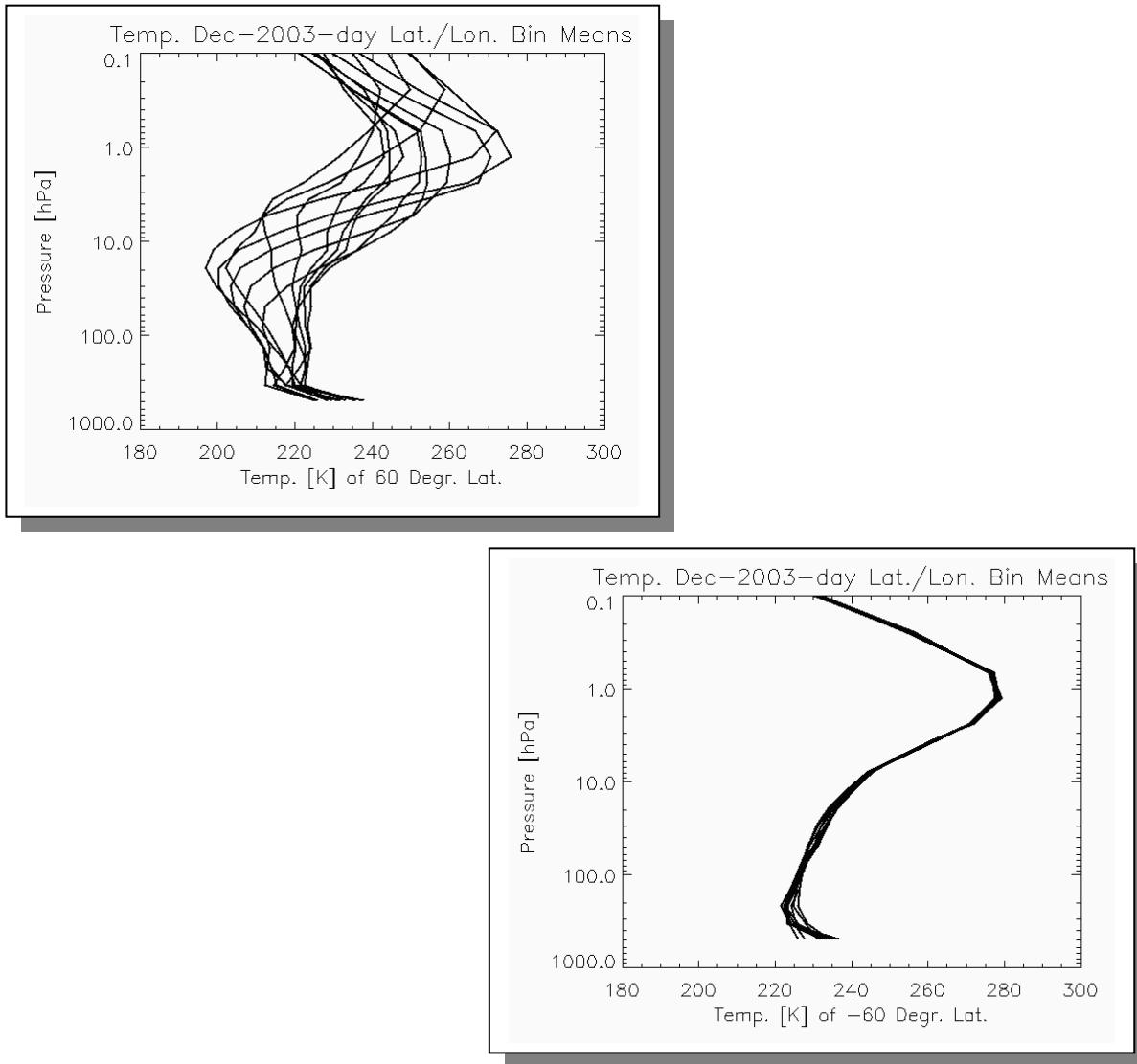


Abb. 3-20: Zonale Verteilung von Temperaturprofilen im Dez. 2003 bei 60 Grad Nord (oben: Auftreten stehender Wellen) und 60 Grad Süd (unten: mit nur geringen zonalen Unterschieden)

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse dient die Abb. 3-21. Dort sind in der linken Hälfte verschiedene Temperatur-Mittelwertprofile für den klimatologischen Zeitraum März bis Mai im Bereich von 0 bis 20 Grad südlicher Breite dargestellt, die neben MIPAS auch von weiteren Instrumenten stammen (aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde keine genaue Zuordnung vorgenommen). Man erkennt Differenzen, die sich vor allem aus der unterschiedlichen Verwendung von Daten der Tag- und der Nachtseite sowie der örtlichen und zeitlichen Verteilung der zugrunde liegenden Messungen ergeben. Daneben sind auf der rechten Seite zwei herausgegriffene Verläufe von RMS-Profilen ebenfalls verschiedener Instrumente gezeigt. Wie man sieht, treten in diesem Fall zwar Unterschiede im Profilverlauf, jedoch nicht in der Größenordnung der RMS-Werte auf.

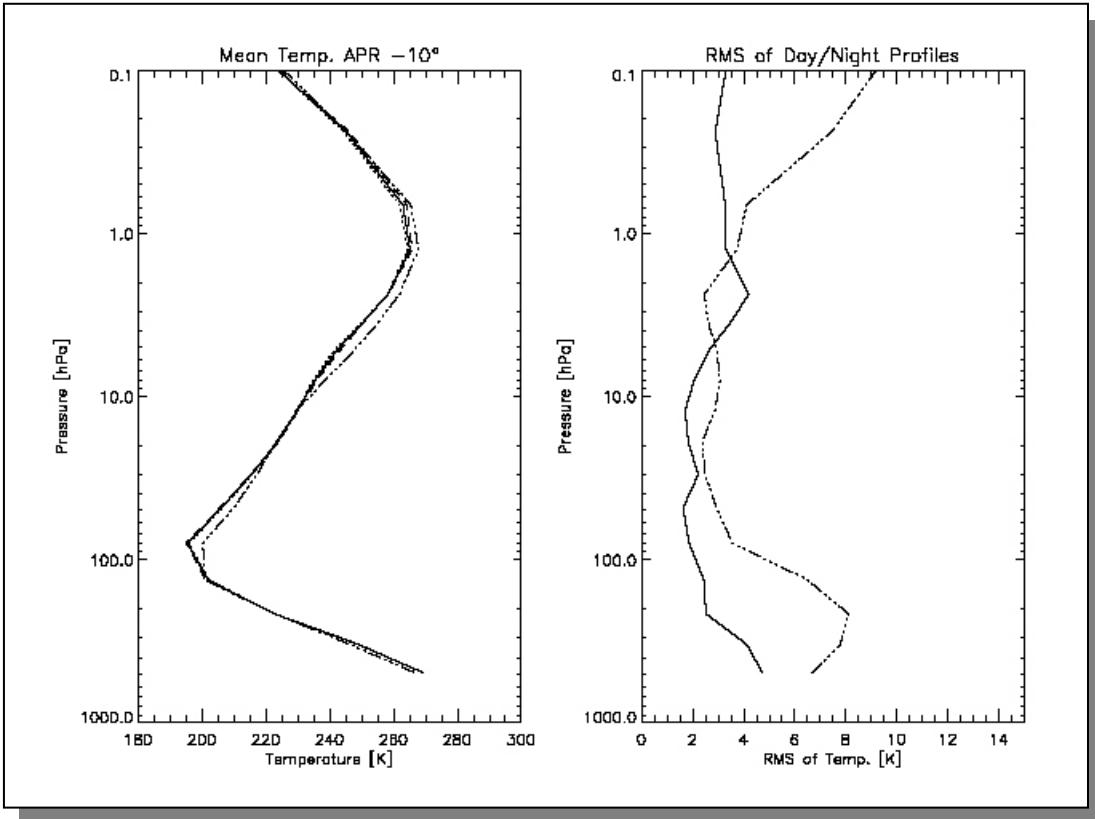


Abb. 3-21: Vergleich von Mittelwertprofilen verschiedener Instrumente mit unterschiedlichen Beobachtungszeiten

3.13 Die Atmospheric Dynamics Mission – ADM

D. Huber, K. Reissig, K. Schmidt, J. Wauer

Die Atmospheric Dynamics Mission (ADM) ist eine der zukünftigen Earth Explorer Missionen der ESA. Nach gegenwärtigen Planungen soll ihr Start im September 2008 erfolgen. Hauptziel von ADM ist die Bereitstellung von globalen Datensätzen wichtiger atmosphärischer Größen, insbesondere eines dreidimensionalen Windfeldes. Diese Datensätze werden ein genaueres Studium des Gleichgewichts und der Zirkulation der Windenergie ermöglichen. Die Informationen aus den Messungen werden zu einer Verbesserung der atmosphärischen Modelle und Analysen führen, was wiederum einen großen Fortschritt in der numerischen Wettervorhersage (NWP), speziell in der Langzeitvorhersage, zur Folge haben wird.

Das Kernstück von ADM-Aeolus ist das Atmospheric Laser Doppler Instrument ALADIN, ein Direct Detection Lidar, welches sich aus zwei Empfängern zusammensetzt: einem „fringe-imaging“ Fizeau Spektrometer zur Analyse der Rückstreuung an Aerosolen und Wolken und einem „double-edge“ Fabry-Perot Spektrometer zur Analyse der Rückstreuung an Molekülen. Die damit gewonnenen Daten werden in mehreren Schritten von Rohdaten zu L2B-Daten aufbereitet, welche dann in Wettervorhersagemodelle assimiliert und dort zu L2C-Daten prozessiert werden können. In der ADM-Prozessorkette treten folgende Produktlevel auf:

- L1A: geolokalisierte Rohdaten
- L1B: kalibrierte, geolokalisierte Rückstreuesignale und erste Windprofile
- L2B: mit zusätzlichen meteorologischen Informationen korrigierte L1B-Daten
- L2C: Resultat der Wettervorhersagemodele.

Zusätzlich werden die L1B-Daten auch zur Berechnung von L2A-Daten, die weitere geophysikalische Parameter wie optische Dicke, Rückstreuoeffizienten oder Wolkenklassifizierung enthalten, herangezogen.

Im Rahmen der Prozessorenentwicklung arbeiten CNRS, DLR, ECMWF, KNMI und Météo France in verschiedenen Studien eng zusammen, wobei das IMF-AP federführend die Studie zu den L1B-Daten übernommen hat. DLR-IPA leistet einen wesentlichen Beitrag bei der Durchführung von Boden- und Flugkampagnen. Mit einem Direct Detection Lidar ähnlich ALADIN werden boden- und flugzeuggestützte Messungen durchgeführt. Damit stehen reale Daten zur Verifizierung der Prozessoren bereits vor dem Start des Satelliten zur Verfügung.

ADM-Aeolus im ESA-Auftrag

Hier waren die Arbeiten in der ersten Hälfte des Jahres 2005 vor allem geprägt vom Review umfangreicher Dokumente. Einer der wesentlichen Meilensteine war der erfolgreiche Abschluss dieses Prozesses bzgl. der Processor Design-Dokumente und des Detailed Processing Models, d.h. der detaillierten Algorithmenbeschreibung. Der Abschluss dieser Arbeiten war Startschuss für den industriellen Partner MacDonald & Dettwiler (MDA), um die Implementierung des End-to-End Simulators (E2S) und des Level 1B Prozessors zu beginnen. Parallel dazu wurden im DLR Sensitivitätsanalysen mit dem DLR-eigenen End-to-End Simulator (DE2S) durchgeführt. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Auswertung der Signale des Fizeau-Spektrometers. Dazu wurden verschiedene Algorithmen zur Windbestimmung, insbesondere des sogenannten Mie-Core Algorithmus im DE2S implementiert und unter verschiedenen Signal-Rauschverhältnissen (SNR) getestet:

- Korrelationsalgorithmus basierend auf Gauß- und Lorentzfunktion
- Maximum-Likelihood Schätzer zur Bestimmung der Peakposition
- Downhill Simplex Verfahren, bei dem sowohl die Peakposition als auch Full-Width-Half-Maximum als nicht-lineare Parameter und Peakheight und Offset als lineare Parameter iterativ bestimmt werden.

Weiter wurden Algorithmen zur Bestimmung des SNR und der Backscatter-Ratio getestet. Aus den Ergebnissen dieser Sensitivitätsanalysen und den zusätzlichen Anforderungen der L2A/L2B-Prozessierung wurde ein neues L1B-Produkt, zusammen mit der erforderlichen Dokumentation, erarbeitet. Dieses dient als Grundlage in den Verhandlungen mit der Industrie zur nächsten Level 1B-Prozessorversion.

Neben den Sensitivitätsanalysen konnte ab September auch die erste operationelle Version des von der Industrie gelieferten E2S und Level 1B Prozessors übernommen werden. Nach funktionellen Tests begannen im DLR Arbeiten an diesem industriellen Prozessor mit dem Ziel, das neu definierte Produkt und die verbesserten bzw. erweiterten Algorithmen in diesen Prozessor zu integrieren. Damit werden wir einen Prototyp erhalten, der zwei Ziele verfolgt. Einerseits sollen mit diesem Prototyp Referenztestdaten für die Industrie erzeugt werden, um eine korrekte Implementierung seitens der Industrie in den operationellen Prozessor sicherzustellen. Andererseits benötigen die an der L2A/L2B-Studie beteiligten Teams L1B-Produkte im neuen Format, um mit der Implementierung der L2A/L2B-Prozessoren und den begleitenden Sensitivitätsanalysen beginnen zu können.

Das Virtuelle Labor (VL) als Kommunikationsplattform

Die Erzeugung der Produkt- und Testdaten sowie ihre Verteilung waren in der vorliegenden Konfiguration der Studienpartner möglichst optimal zu gestalten. Als besonders geeignet erwies sich hierfür schließlich die Plattform des Virtuellen Labors, in dem ein ADM-Fachlabor eingerichtet wurde. Wichtige Meilensteine betrafen diesbezüglich die Einbindungen des von der Industrie gelieferten sowie der ersten Version des vom DLR erweiterten L1B-Prozessors. Unter Nutzung der VL-Funktionalitäten waren die L2A- und L2B-Teams vom Ballast üblicher Installationsprobleme freigestellt und konnten entsprechende Testdaten erzeugen. Diese sehr positiven Aspekte der VL-Nutzung ließen eine effiziente Kommunikation zwischen den Prozessorentwicklungsteams entstehen.

DLR-internes Teilprojekt

Auch im Rahmen des DLR-internen Projektes wurden im Berichtszeitraum Fortschritte erzielt. Hierzu zählen

- Implementierung erster Module eines DLR-eigenen Referenzprozessors zur Auswertung der Mie-Signale und ihre Integration in das ADM-Fachlabor des VL
- Implementierung eines Java-Tools, dem *Simulation Data Manager*, mit dessen Hilfe reale Atmosphärendaten (bereitgestellt vom KNMI) in das Eingabeformat des industriellen E2S

konvertiert werden können. Mit diesen so erzeugten Daten lässt sich der Level 1B-Prozessor lange vor dem Start der Mission unter realistischen Rahmenbedingungen testen.

- Entwicklung einer ersten Version einer Visualisierungstoolbox zur Darstellung von Windparametern (Abb. 3-22). Beispielsweise lassen sich HLOS-Windgeschwindigkeiten sowohl zweidimensional als auch dreidimensional darstellen.

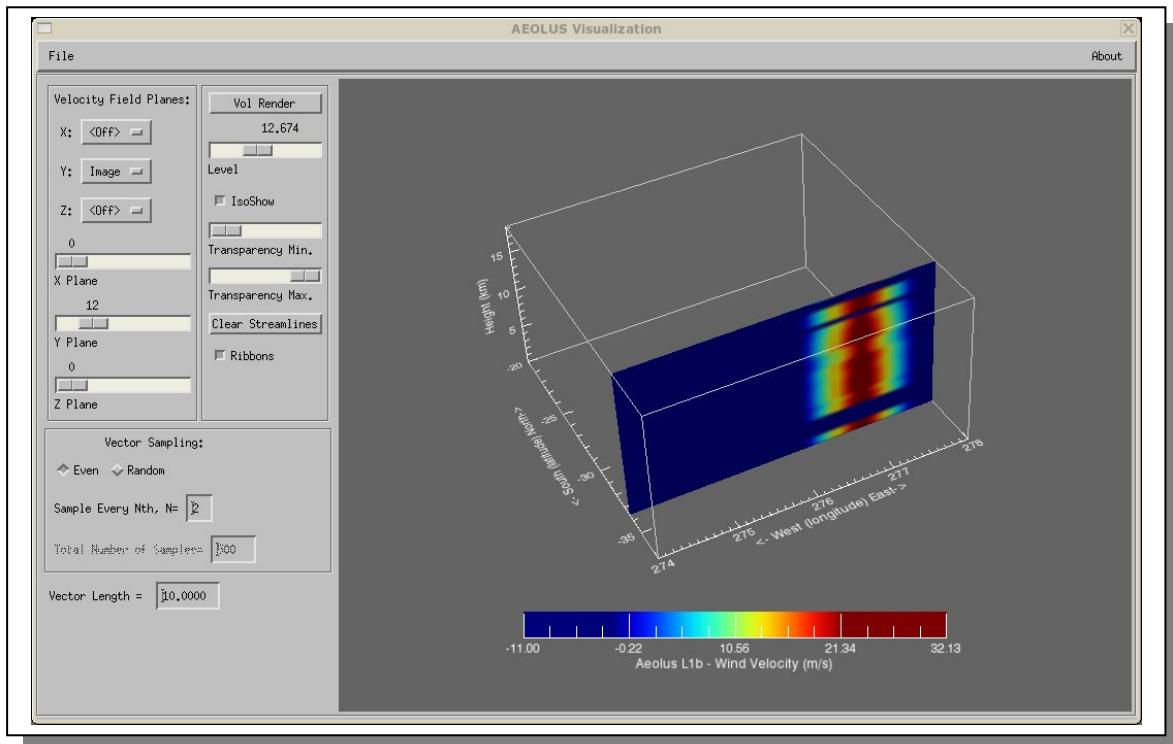


Abb. 3-22: Farbcodierte Windgeschwindigkeiten einer Messung aus einem simulierten L1B-Produkt

3.14 FitMAS-Analyse von Laborspektren

F. Schreier

Eine wichtige Voraussetzung für die Fernerkundung der Atmosphäre (allgemeiner: gasförmiger Medien) mit spektroskopischen Methoden ist die Kenntnis der Absorptions- und Streueigenschaften der Moleküle. Bereits seit einigen Jahrzehnten werden daher die wesentlichen Linienparameter (Übergangsfrequenzen, Linienstärken, Linienbreiten, usw.) der im Mikrowellen-, IR- bis UV-Spektralbereich absorzierenden Gase wie H_2O , CO_2 , O_3 , usw. in entsprechenden Datenbanken gesammelt. Obwohl die neuesten Ausgaben der HITRAN- und GEISA-Datenbasis mit jeweils mehr als 1.6 Millionen Linien von über 30 Molekülen bereits sehr umfangreich sind, ist eine Erweiterung und Verbesserung auch in Blick auf die zunehmende Qualität gegenwärtiger und zukünftiger FE-Sensoren unabdingbar.

Die Abteilung IMF-EV betreibt seit fast 20 Jahren ein hochauflösendes Fourier Transform Spektrometer BRUKER IFS 120 HR einschließlich kühl- bzw. heizbarer Einfach- bzw. Vielfachreflektions-Absorptionszellen sowie der chemischen Ausstattung zur Generierung und Charakterisierung der zu untersuchenden Spezies. Im Rahmen verschiedenster national (z.B. DLR, HGF, BMBF) und international (z.B. ESA, EU) geförderter Projekte wurden mit dieser Anlage eine Vielzahl von Gasen (CO , CO_2 , O_3 , ClO , Cl_2O_2 , $HOCl$, $CIONO_2$, BrO , OH , H_2O , H_2O_2 , HO_2 , NO , NO_2 , N_2O_5 , usw.) untersucht, wobei ein Großteil der Daten in den HITRAN-, GEISA- und JPL-Datenbasen aufgenommen wurde (Birk, 2001).

Wesentlicher Bestandteil der umfangreichen Analyse-Software ist FitMAS (Fit Molecular Absorption Spectra), ein Programm zur Bestimmung molekularer Linienparameter aus gemessenen Absorptions-Spektren mittels eines nichtlinearen Least-Squares-Fits. Dabei ist die an das beobachtete Spektrum anzupassende Modellfunktion als Faltung der monochromatischen Transmission mit einer instrumentellen Linien-Profil-Funktion (spectral response function) definiert. Weitere Aspekte beinhalten

- Least-Squares: gedämpfter Gauss-Newton-Algorithmus oder Levenberg-Marquardt (*trust region*) Algorithmus aus MinPack.
- Linienprofil-Funktionen: Lorentz, Voigt, Rautian oder verallgemeinerter Rautian zur Beschreibung von Druck- und Doppler-Verbreiterung und Stoß-Verengung. Die Berechnung der Voigt- bzw. Rautian-Profile erfolgt mit Hilfe rationaler Näherungen für die komplexe Fehlerfunktion.
- Instrumentelle Linienprofil-Funktion (ILS): sinc (entsprechend der endlichen optischen Wegdifferenz des FTS), SincBox (zusätzliche Berücksichtigung der endlichen Blendenöffnung) oder phasengestörter sinc.
- Analytische Berechnung der Jacobi-Matrix (Ableitungen nach den Fit-Parametern)
- Exakte Berechnung des Faltungsintegrals
- Gruppen eng benachbarter Linien können als Multipletts behandelt werden, d.h. relative Linienpositionen bzw. -Stärken werden festgehalten.
- Die zu fittenden bzw. festzuhalgenden Linienparameter (Position, Stärke, Druckverbreiterungs- und Stoß-Verengungs-Koeffizienten, druck-induzierte Linienverschiebung) können für jede Linie individuell gewählt werden.
- Zusätzlich können – bei entsprechend gewählter ILS – der Durchmesser der Blende bzw. die Phase sowie eine Baseline (als Polynom der Wellenzahl mit zu bestimmenden Koeffizienten) gefittet werden.
- Zur Initialisierung können Linienparameter aus der HITRAN, GEISA- oder JPL-Datenbasis oder aber auch aus einer einfachen Peakliste eingelesen werden.
- FitMAS kann sowohl im „Batch-Modus“ als auch interaktiv mit einer graphischen Oberfläche betrieben werden. Neben Standardfunktionen wie Zoomen, Scrollen, usw. ermöglicht die auf PGPlot basierende Graphik die Definition des zu fittenden Mikrowindows und das An-/Ausschalten der zu fittenden Parameter jeder einzelnen Linie.

FitMAS wurde ausgiebig im Rahmen einer Kooperation mit dem Steacie-Institute for Molecular Science (NRC, Ottawa) mit einem vergleichbaren Programm von J. Johns (*Johns et al., 1994*) sowie im Rahmen einer ESA-Studie mit Programmen des Rutherford-Appleton-Laboratory validiert.

Im Rahmen eines durch die DFG und durch das Centre National Pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST, Marokko) geförderten Kooperations-Projektes *Bestimmung von Linienparametern reiner Rotationsübergänge von Ozon* mit Prof. M. Badaoui (Institut Agronomie et Veterinaire Hassan II, Rabat) sollen Ozon-Spektren im fernen Infrarot ausgewertet werden, die mit dem Bruker-FTS bei verschiedenen Drücken, Temperaturen und Gas-Mischungen gemessen wurden (*Birk und Wagner, 1997*). Ziel ist hierbei insbesondere die Verbesserung der Genauigkeit von Linienverbreiterungsparametern einschließlich ihrer Temperaturabhängigkeit. Ein wichtiger Aspekt des Forschungsaufenthalts von Prof. Badaoui am DLR-IMF im Frühsommer 2005 sowie des Gegenbesuchs in Rabat Mitte September des gleichen Jahres war der Vergleich der von beiden Seiten entwickelten Auswerte-Programme FitMAS und „Chain of Programs“ (*Badaoui and Alaoui Elbelghiti, 2005*). Bei den im Vergleich betrachteten Linien wurden Übereinstimmungen bei den Linienstärken und Druckverbreiterungs-Parametern von 1% und besser erzielt.

Abb. 3-23 zeigt den Ergebnisplot von FitMAS für einen Fit eines Ozonspektrums ($T=296.3\text{K}$, $p=86.8\text{mb}$, $p\text{O}_3=35.8\text{mb}$): Es wurden insgesamt 18 Parameter gefittet: Position, Stärke und Druckverbreiterungskoeffizient der vier stärksten Linien, Linienstärken von vier mittelstarken Linien sowie Durchmesser der Blende und Basislinie.

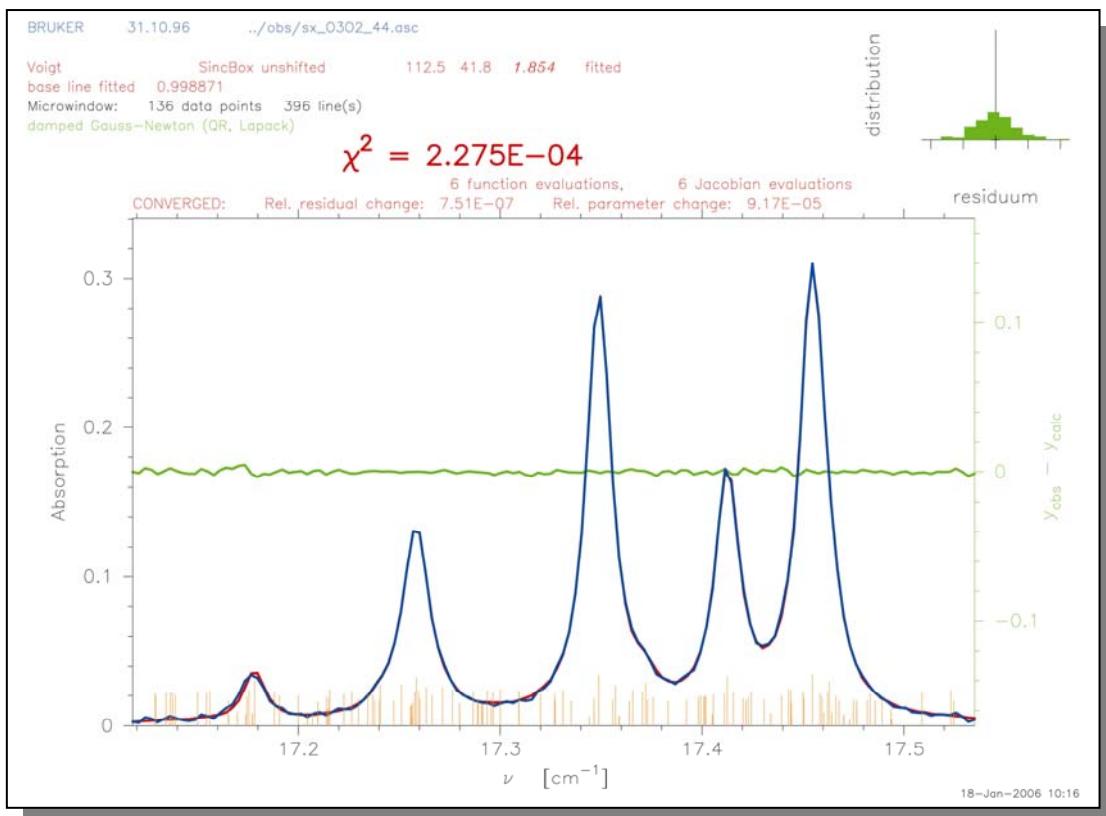


Abb. 3-23: FitMAS-Ergebnisplot (Details siehe Text)

zitierte Literatur:

Badaoui, M. and M. Alaoui Elbelghiti: A Method of Determination of Line Parameters from Fourier transform Spectroscopy (FTS) Data, Phys. Chem. News 21, 94-100, 2005

Birk, M., D. Hausmann, F. Schreier, G. Wagner: High resolution infrared laboratory spectroscopy of atmospheric constituents at DLR, In Demaison et al. [2001], pages 219-233, 2001

Birk, M., G. Wagner: Study on spectroscopic database for millimeter and submillimeter wavelength, Final Report to ESTEC Contract No. 11581/95/NL/CN; edited by A. Bauer, 1997

Johns, J.W.C., F. Schreier, B. Schimpf, M. Birk: Analysis of high resolution Fourier transform molecular spectra, in The Future of Spectroscopy: From Astrophysics to Biology, Sainte Ad`ele, Quebec, CA, September 1994

3.15 Selbstkonsistenter Green-Funktionsformalismus für die Lichtstreuung T. Rother

In der Vergangenheit wurden eine ganze Reihe unterschiedlicher numerischer Verfahren entwickelt, mit denen das Streuverhalten nichtspärärischer Teilchen ohne zusätzliche Näherungen analysiert werden kann. Erwähnt seien in diesem Zusammenhang die Volumenintegralverfahren, die Oberflächenintegralverfahren und die verschiedenen T-Matrix-Methoden. Diese Verfahren unterscheiden sich zum Teil beträchtlich in den zugrunde liegenden Lösungskonzepten, und entsprechend widersprüchlich werden die Vor- und Nachteile der jeweiligen Methode in der aktuellen Literatur diskutiert. Das erschwert insbesondere „Neueinstiegern“ in die Thematik der Lichtstreuung die Auswahl des für ihre Zwecke günstigsten Verfahrens. Um diesen Diskussionen eine einheitliche mathematische Basis zu schaffen von der aus man sich die unterschiedlichen Methoden erschließen kann, wurde der Selbstkonsistente Green-Funktionsformalismus (SGFF) entwickelt (Details siehe Rother 2005a,b). Dieser lehnt sich eng an den aus der Quantenstatistik und Quantenelektrodynamik bekannten Formalismus an und gestattet eine größtmögliche Systematisierung sowie eine strenge Trennung der mathematischen, numerischen und physikalischen Aspekte der jeweiligen Methode.

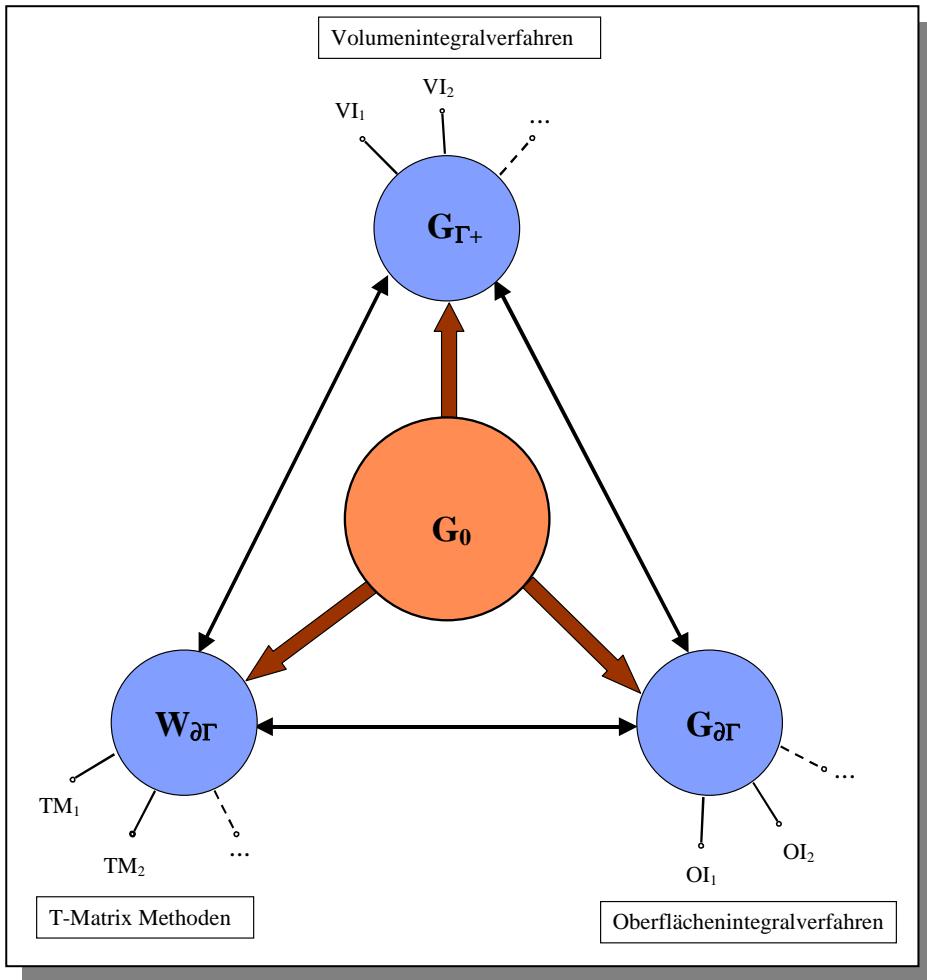


Abb. 3-24: Die drei Elemente des selbstkonsistenten Green-Funktionsformalismus und deren Beziehung zu den numerischen Verfahren der Lichtstreuanalyse

Ausgangspunkt des SGFF ist die Formulierung des Huygens-Prinzips mit Hilfe von Greenfunktionen. Dazu wurde in geeigneter Weise ein Wechselwirkungsoperator $\mathbf{W}_{\partial\Gamma}$ definiert, der in enger Beziehung zur Waterman'schen T-Matrix steht. Mit dessen Hilfe sind wir in der Lage, die dem jeweiligen Streuproblem zugeordnete Volumengreenfunktion ($\mathbf{G}_{\Gamma+}$) bzw. die dazu äquivalente Oberflächengreenfunktion ($\mathbf{G}_{\partial\Gamma}$) durch eine geeignete Reihenentwicklung nach aus- und einlaufenden Eigenlösungen der Helmholtz- bzw. Vektorwellengleichung darzustellen. Diese drei Elemente, $\mathbf{W}_{\partial\Gamma}$, $\mathbf{G}_{\Gamma+}$ und $\mathbf{G}_{\partial\Gamma}$, sind die zentralen Elemente des SGFF, die jeweils in enger Beziehung zu den T-Matrix-Methoden, den Volumenintegralverfahren bzw. den Oberflächenintegralverfahren stehen (siehe Abb. 3-24). Eine Vielzahl der bisher entwickelten numerischen Verfahren sind lediglich konkrete numerische Realisierungen des jeweiligen Operators. Generell wird im SGFF vorausgesetzt, dass die Greenfunktion des freien Raumes (\mathbf{G}_0) bekannt ist, beispielsweise in Form der bekannten Reihenentwicklung in Kugelkoordinaten.

Neben einer systematischen Darstellung verschiedener Klassen numerischer Verfahren gestattet der SGFF aber auch die iterative Lösung des Streuproblems auf der Basis der sogenannten *Lippmann-Schwinger Gleichung*. Diese konnte für alle drei Operatoren abgeleitet werden. Damit kann u.a. auch der Einfluss von Oberflächenrauigkeiten auf das Streuverhalten nicht sphärischer Teilchen untersucht werden. Die Lippmann-Schwinger Gleichungen bieten darüber hinaus die Möglichkeit, Strahlungstransfergleichungen aus den zugrunde liegenden elementaren Streuprozessen abzuleiten, was insbesondere für stark inhomogene Streuer von Interesse ist.

Als Konsequenz des abgeleiteten Huygens-Prinzips zeigt sich, dass Streuexperimente prinzipiell in zwei unterschiedlichen Szenarien durchgeführt werden können, welche zu unterschiedlichen Aussagen führen. Das könnte insbesondere für die Interpretation von Mikrowellen-Analogmessungen weitreichende

Konsequenzen haben. Solche Messungen sind gerade in der Fernerkundung oftmals die einzige Möglichkeit, verlässliche Streudaten zu generieren.

Zitierte Literatur:

Rother, T.: Self consistent Green's function formalism for acoustic and light scattering, Part 1: Scalar notation, Optics Communications, Vol. 251, pp. 254-269, 2005a

Rother, T.: Self consistent Green's function formalism for acoustic and light scattering, Part 2: Dyadic notation, Optics Communications, Vol. 251, pp. 270-285, 2005b

3.16 Streudatenbank für nichtsphärische Teilchen

J. Wauer

Die Streuung elektromagnetischer Wellen an nichtsphärischen, dielektrischen Teilchen gewinnt auch in der Fernerkundung der Erdatmosphäre zunehmend an Bedeutung. Erwähnt seien beispielsweise Untersuchungen zur Klimawirksamkeit von Wüstenstaub oder Zirruswolken. In Ersterem spielen trockene, nichtsphärische Mineralteilchen eine wichtige Rolle, in Letzterem nichtsphärische Eiskristalle. Das Vorhandensein nichtsphärischer Teilchen im Messvolumen kann mit modernen Lidar-Messverfahren durch die Messung der Depolarisation direkt nachgewiesen werden. Aber auch indirekte Messungen liefern zunehmend Hinweise auf die Notwendigkeit, nichtsphärische Streueffekte zu berücksichtigen.

Dem steht bisher entgegen, dass die Modellierung nichtsphärischer Streuprozesse mit einem erheblich größeren Aufwand verbunden ist, als es bei den sphärischen Streuprozessen im Rahmen der Mie-Theorie der Fall ist. Das betrifft einerseits den rechentechnischen Aufwand, der auch mit den heute zur Verfügung stehenden Rechnern noch weit davon entfernt ist, direkt im „on-line“-Betrieb durchgeführt werden zu können. Das betrifft aber auch das wesentlich komplexere Konvergenzverhalten der zur Verfügung stehenden Verfahren, die einem mit der dahinterliegenden Methodik nicht vertrauten Nutzer das Einschätzen der Genauigkeit und Sinnhaftigkeit erzielter Ergebnisse beträchtlich erschweren. Eine Streudatenbank nichtsphärischer Teilchen mit definierter Genauigkeit kann hier Abhilfe schaffen und den Nutzer sowohl vom rechentechnischen Aufwand als auch von der Kontrolle der Genauigkeit der Streumodelle entlasten.

Physikalische Struktur

Die erste Ausbaustufe der geplanten Streudatenbank orientiert sich an den Erfordernissen des Projektes SAMUM (siehe Kap. 3.18), insbesondere aber an den Lidar-Messungen des IfT und des MIM mit ihren Mehrkanal-Lidaren. Die Wahl der Parameter wurde in Vorgesprächen abgestimmt. Die Struktur der Datenbank gestattet jedoch zukünftig beliebige Erweiterungen innerhalb des Gültigkeitsbereiches der verwendeten Methodik.

Eine Besonderheit in der Fernerkundung ist die in der Regel nicht vorhandene Kenntnis über die Orientierung der Streuer im Messvolumen. Es ist deshalb sinnvoll, das Streuverhalten eines einzelnen Teilchens über alle Orientierungen zu mitteln. Der hier entwickelten Streudatenbank liegt deshalb die einschränkende Annahme zu Grunde, dass alle möglichen Orientierungen gleichberechtigt sind, d.h., dass keine Vorzugsrichtung existiert bzgl. der sich die streuenden Teilchen ausrichten.

Die in der Streudatenbank abgelegten physikalischen Größen sind:

- Phasenfunktion im Streuwinkelbereich ($0^\circ, 180^\circ$)
- Extinktionseffizienz (orientierungsgemittelt)
- Streueffizienz (orientierungsgemittelt)
- Absorptionseffizienz (orientierungsgemittelt)
- Einzelstreualbedo (orientierungsgemittelt)
- Rückstreuereffizienz (orientierungsgemittelt, direkt- und depolarisiert)
- Asymmetriefaktor.

Parameterbereich der Datenbank

In der ersten Ausbaustufe der Datenbank beschränken wir uns auf Rotationsellipsoide, deren Randkurven

durch

$$\left(\frac{x}{b}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 + \left(\frac{z}{a}\right)^2 = 1$$

definiert sind. Zur Beschreibung der Partikel benutzen wir anstelle der Halbachsen a und b das Aspektverhältnis a/b sowie den Größenparameter $kr_{eqv(v)}$, auf den sich das Streuproblem skalieren lässt. Der effektive Radius $r_{eqv(v)}$ ist hierbei der Radius der Kugel mit dem gleichen Volumen wie der Streuer, und k steht für die Wellenzahl des einfallenden Lichts. Bezuglich des Aspektverhältnisses und der Brechzahl n berechnen wir die Streueigenschaften an folgenden diskreten Werten:

Re(n)	1.33	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
Im(n)	0	0,001	0,005	0,01	0,03	0,05	0,1	
a/b	0.67	0.77	0.87	1.15	1.3	1.5		

Tabelle 3-3: Für Streudatenbank genutzte Aspektverhältnisse sowie Real- und Imaginärteil der Brechzahl

In der ersten Ausbaustufe der Datenbank ist die obere Grenze des Größenparameters durch $kr_{eqv(v)} = 40$ gegeben. Dies bedeutet, dass beispielsweise bei folgenden Wellenlängen Streuer bis zu den zugehörigen effektiven Radien $r^{\max}(\lambda)$ durch die Datenbank erfasst werden:

$\lambda [\mu\text{m}]$	$r^{\max}(\lambda)[\mu\text{m}]$
0.355	2.26
0.4	2.54
0.531	3.38
0.71	4.52
0.8	5.09
1.064	6.77

Tabelle 3-4: Effektive Radien der Streuer als Funktion der Wellenlänge

Aktueller Stand der Berechnungen

Als erste Ergebnisse liegen alle Streugrößen für Größenparameter bis $kr_{eqv(v)}=20$ vor. In Abb. 3-25 ist die Größe

$$\sigma_{dep}^{back} / (\sigma_{dir}^{back} + \sigma_{dep}^{back})$$

d.h. das Verhältnis des depolarisierten Anteils der Rückstreueffizienz zur gesamten Rückstreueffizienz als Funktion des Aspektverhältnisses und des Größenparameters gezeigt (σ_{dir}^{back} - direkt polarisierter Anteil der Rückstreueffizienz), welche für Lidar-Messungen und Radar-Rückstreuung von Bedeutung ist.

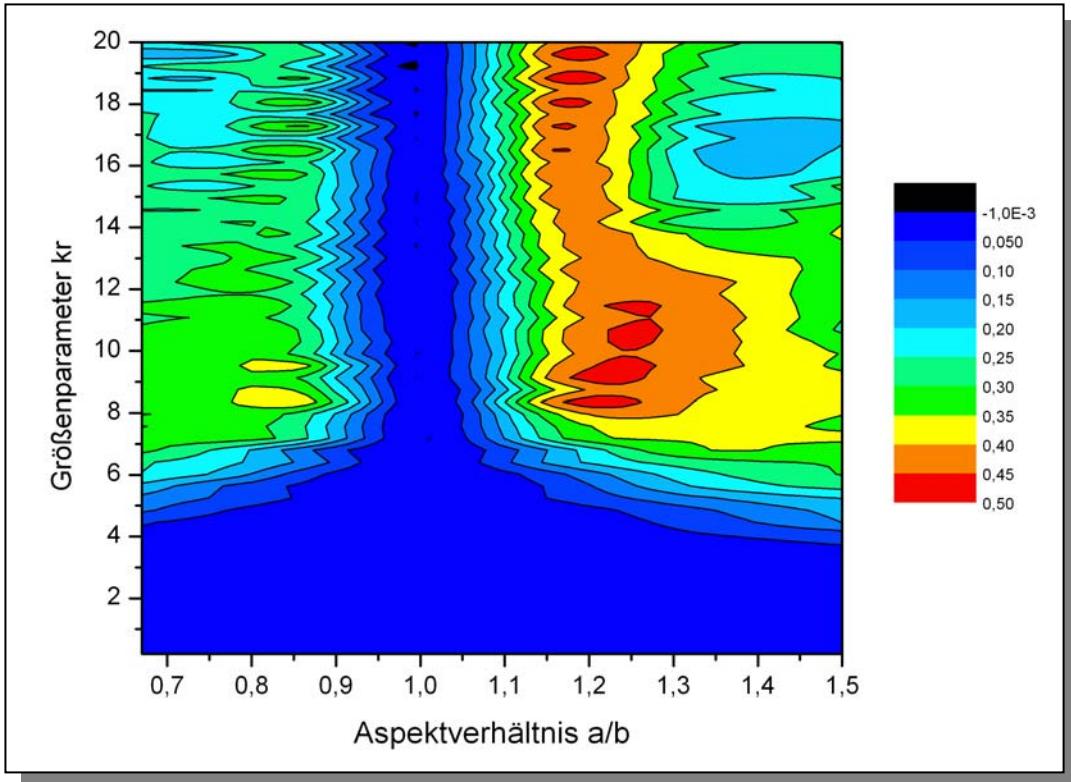


Abb. 3-25: Verhältnis des depolarisierten Anteils der Rückstreueffizienz zur gesamten Rückstreueffizienz als Funktion des Aspektverhältnisses a/b und des Größenparameters kr für den Brechungsindex $n=1.3$

3.17 Retrieval von Spurengasemissionen über Waldbränden

M. Heß, F. Schreier

Die Ableitung von Spurengaskonzentrationen über Vegetationsfeuern aus Messungen flugzeug- oder satellitengetragener IR-Spektrometer gehört seit vielen Jahren zu den Arbeitsgebieten der Abteilungen AP und EV des IMF. Im Rahmen einer ESA-Studie wurde der Retrievalalgorithmus PyReS (Prototype Retrieval System), incl. feuerspezifischer Datenfusion von IR-Spektrometer und IR-Imager entwickelt (siehe Jahresbericht 2002 sowie *Schreier et al. 2002*). Im vergangenen Jahr konnten damit erstmals reale Satellitendaten (Kombination aus AIRS und MODIS) ausgewertet werden. Dabei ergab sich die Notwendigkeit, die Retrievalmethodik weiter zu verfeinern. Deshalb wurde das Verfahren im Berichtsjahr um folgende Punkte erweitert:

- Aufeinanderfolgendes Retrieval einer Vielzahl von Spektren und damit die Verarbeitung ganzer Orbits oder *granules*. Diese Option wurde auch zur Verarbeitung von SCIAMACHY-IR-Spektren mit Hilfe von PyReS benutzt (s. Kap. 3.8).
- Sequentielles Retrieval: verschiedene Parameter können nacheinander in verschiedenen Spektralbereichen abgeleitet werden. Dabei ist es möglich, die resultierenden Parameter eines Retrievals in einem Spektralbereich, beispielsweise die Bodentemperatur, als Input für ein Retrieval in einem anderen Spektralbereich, beispielsweise der CO-Konzentration, zu verwenden.
- Fehlerbetrachtung: die Berechnung des Retrievalfehlers aus der Kovarianzmatrix unter Verwendung des Retrievalresiduums. Der so berechnete Fehler entspricht einer Änderung des abgeleiteten Parameters, die gerade so groß ist, dass sie eine Änderung des modellierten Spektrums von der Größe des Residuums hervorrufen würde.

Die Ableitung von Spurengasemissionen erfordert die Messung von Gaskonzentrationen möglichst dicht über dem Feuer, oder zumindest innerhalb der Abgaswolke. Zur Bestimmung geeigneter Spektralbereiche wurden daher höhenabhängige Ableitungen (Änderung der spektralen Strahldichte bei einer gegebenen Änderung eines Atmosphären-Parameters) für verschiedene Atmosphärenmodelle mit und ohne Feuer

und für mehrere relevante Parameter berechnet. Ein Beispiel einer solchen Sensitivitätsrechnung für CO bei einer Midlatitude Summer Atmosphere (MLS) im Spektralbereich ab 2180 cm⁻¹, wie er bei AIRS zur Verfügung steht, ist in Abb. 3-26 dargestellt. Es ist daraus zu entnehmen, dass das Maximum der Gewichtsfunktionen von CO immer bei etwa 5 km Höhe liegt, weshalb aus diesen Messungen keine direkte Feueremissionsmessung unter Verwendung der Datenfusion möglich ist. Es ist aber sehr wohl möglich, die CO-Konzentration in ca. 5 km Höhe abzuleiten. Dazu werden im Spektralbereich 2180 - 2210 cm⁻¹ für jedes Spektrum gleichzeitig vier Parameter angepasst, und zwar die Bodentemperatur sowie Skalierungsfaktoren für die Höhenprofile von Temperatur bzw. CO- und H₂O-Konzentration.

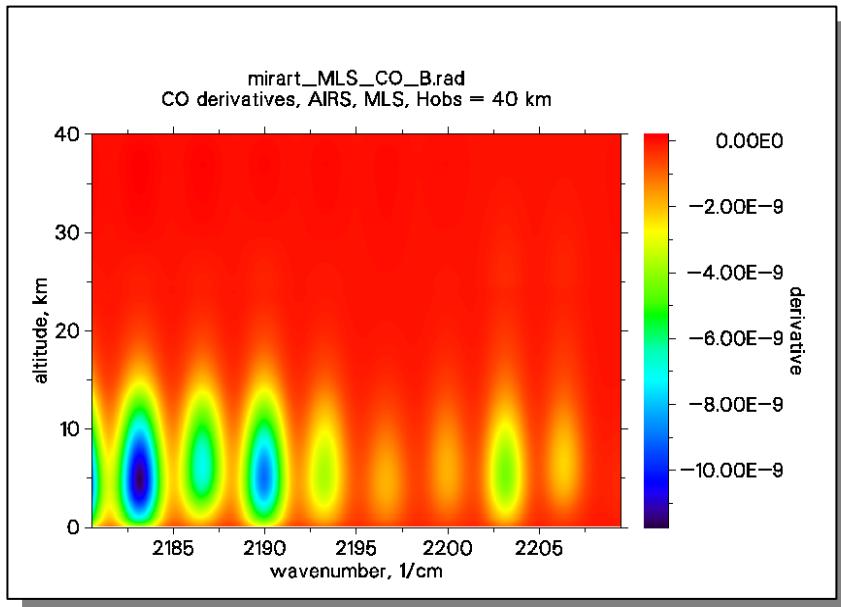


Abb. 3-26: Gewichtsfunktionen von CO in einer MLS-Atmosphäre, gerechnet für AIRS. Die größte Sensitivität tritt jeweils ungefähr in 5 km Höhe auf.

Abb. 3-27 illustriert Ergebnisse eines solchen Retrievals aus AIRS-Spektren des 14. August 2003. An diesem Tag ereignete sich an der Südküste von Portugal ein großer Waldbrand. Im linken Teil von Abb. 3-27 erkennt man die abgeleiteten Bodentemperaturen. Das Pixel, das das Feuer enthält, ist deutlich erkennbar. Die vergleichsweise niedrige Temperatur von 327 K erklärt sich daraus, dass das Feuer nur etwa 2.5 % der Fläche des Spektrometer-Gesichtsfeldes ausfüllt (berechnet von DLR-OS aus MODIS-Daten). Rechts ist in Abb. 3-27 die CO-Wolke zu sehen, welche sich in der Höhe im Laufe der Zeit Richtung Nordosten ausgebreitet hat. Die Retrieval-Fehler der CO-Werte liegen typischerweise zwischen 10% und 15%, die Fehler der Temperaturwerte im Promillebereich (entsprechend ~ 0.5 K). Die Werte der MLS-Atmosphäre, die als Startwerte verwendet wurden, betragen 0.13 ppm CO in 5 km Höhe bzw. 300 K Bodentemperatur. Das entspricht in beiden Fällen etwa der blauen Farbe in den Abb. 3-27. Schließlich verdeutlicht Abb. 3-28 exemplarisch für das „Feuerpixel“ im Südwesten Portugals ein gefittetes Spektrum zusammen mit dem Messspektrum und dem Anfangswert des Retrievals (initial guess).

Da das eigentliche Ziel dieser Untersuchungen die Bestimmung von Spurengasemissionen (z.B. CO₂, CO, CH₄) aus Vegetationsfeuern ist, sind weitere Studien für spektral höherrauflösende Spektrometer erforderlich. Diese sollen es zukünftig erlauben, Informationen auch aus tiefer liegenden Schichten der Atmosphäre zu erhalten.

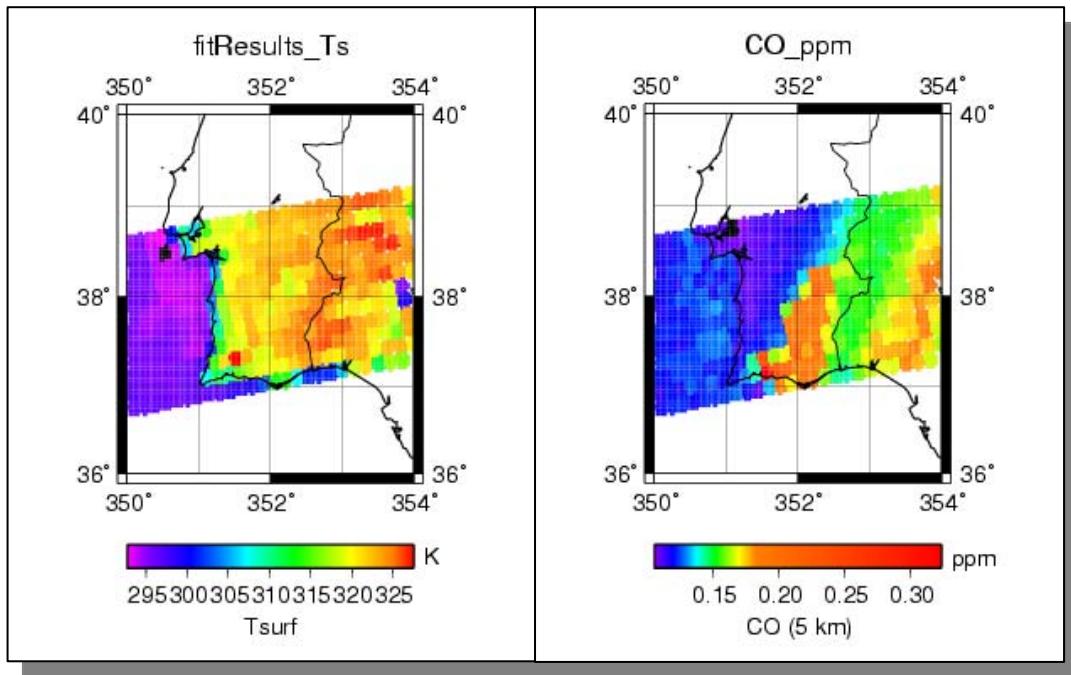


Abb. 3-27: Links: Bodentemperaturen, abgeleitet aus AIRS-Spektren vom 14. August 2003. Rechts: CO Konzentrationen in 5 km Höhe, abgeleitet aus AIRS-Spektren vom 14. August 2003.

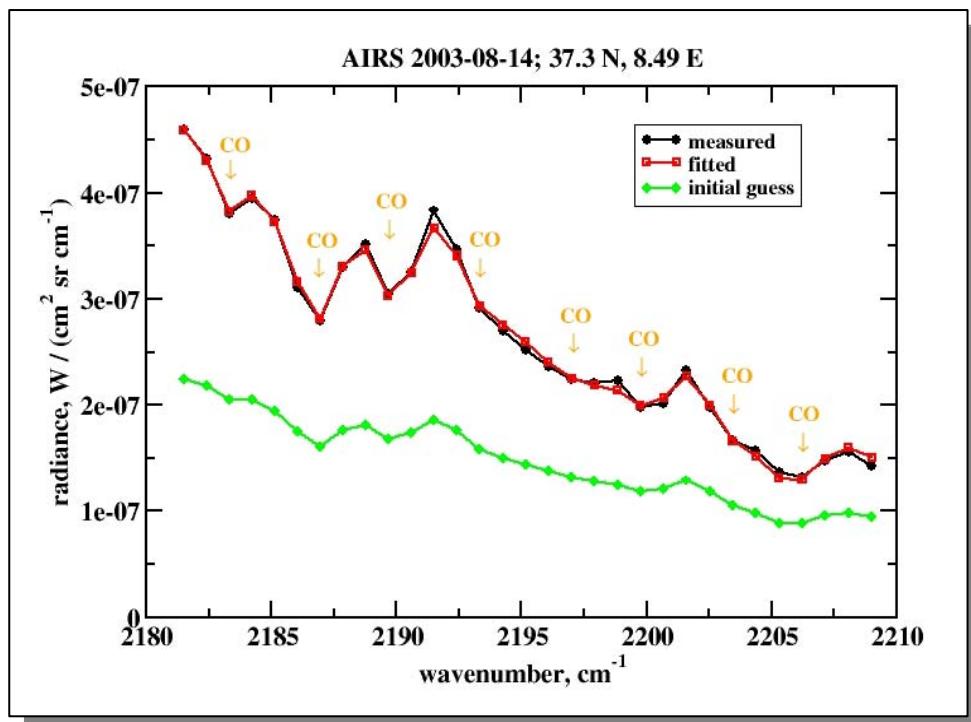


Abb. 3-28: Gemessenes (schwarz), gefittetes (rot) und initial-guess-Spektrum (grün) des Feuer-Pixels im Südwesten Portugals. Die Pfeile bezeichnen die Spektralpunkte mit höchster Sensitivität für CO, wie sie in Abb. 3-26 zu sehen sind.

Zitierte Literatur:

Schreier, F., K. Beier, M. Hess, V. Tank, B. Zhukov, D. Oertel: FOCUS Data Fusion Algorithm Development – Final Report, ESA CR (P)4384, Contract 14728/00/NL/JSC November 2002

3.18 Saharan Mineral Dust Experiment – Ein Überblick über Teilprojekt 2

S. Otto, T. Trautmann

Am Verbundprojekt Saharan Mineral Dust Experiment (SAMUM), das die optische Wirksamkeit sowie den globalen Transport von Mineralstaub experimentell und auf der Grundlage von Simulationen untersucht, sind die Einrichtungen

- Institut für Physik der Atmosphäre des DLR – Oberpfaffenhofen
- Institut für Methodik der Fernerkundung des DLR – Oberpfaffenhofen
- Leibniz-Institut für Troposphärenforschung – Leipzig
- MPI für Biogeochemie Jena
- Institut für Meteorologie der Universität München
- Institut für Physik der Atmosphäre der Universität Mainz
- Institut für Mineralogie der Technischen Universität Darmstadt
- Institut für Umweltphysik und Fernerkundung der Universität Bremen

beteiligt (generelle Informationen zu SAMUM findet man im Jahresbericht 2004). Im Rahmen des Projektes sollen im Sommer 2006 in-situ Flugzeug- und Fernerkundungsmessungen in Marokko durchgeführt werden. Bei den Flugkampagnen kommen die Forschungsflugzeuge Falcon des DLR und Partenavia der enviscope GmbH zum Einsatz. Ziel dieser Aktivitäten ist die Erfassung der räumlichen Ausdehnung und der Transportmechanismen derartiger Staubschichten sowie der physikalischen Morphologie der Teilchenpopulationen zusammen mit ihren chemischen Eigenschaften. Dies beinhaltet Parameter wie vertikale Variabilität der Anzahlkonzentration-Größenverteilung, Teilchenformen, feuchteabhängiger Brechungsindex und Luftmassenabhängigkeit.

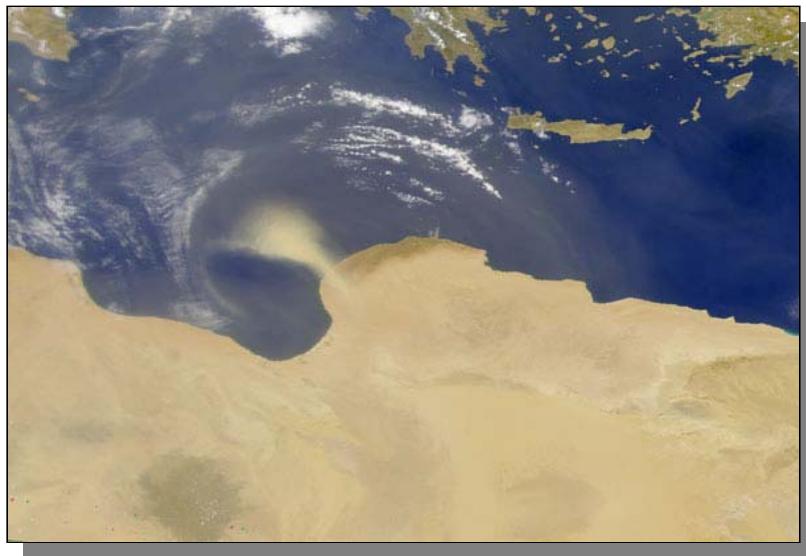


Abb. 3-29: Mineralstaubausbruch über Libyen am 22.8.2001 (Bild: NASA)

Das Teilprojekt 2 von SAMUM hat die gemäß dem IPCC-Report 2001 noch ungeklärte optische Klimawirksamkeit von Mineralstaub zum Gegenstand. Die bisherige Projektarbeit umfasste dabei die Bereitstellung der nötigen Komponenten zur Modellierung der optischen Eigenschaften unter Einbezug verschiedener Messdaten wie beispielsweise Größenverteilungen und Partikelform:

- Standardatmosphären in 300 horizontal homogene Modellschichten bis in 120 km unterteilt mit einer Auflösung von 1 km oder feiner zur 1D-Strahlungstransfersimulation.
- hohe spektrale Auflösung bis hin zu Line-by-Line Simulationen zwischen 200 nm und 100 µm Wellenlänge unter Einbeziehung der spektroskopischen Parameter der HITRAN-Datenbank 2004 zur Beschreibung der atmosphärischen Gasabsorption eingeschlossen der CKD-Kontinuumsabsorption von Wasserdampf.
- Klassische Mie-Theorie für homogene Sphären und T-Matrix-Methoden für homogene Sphäroide (*Mishchenko and Travis, 1994*) zur Simulation der Extinktionseigenschaften der Partikel (Streuung und Absorption, Asymmetrieparameter, Einfachstreualbedo, Phasenfunktion

aus den Größenverteilungsmessungen) in Abhängigkeit vom wellenlängenabhängigen komplexen Brechungsindex.

- Zweistrom-Verfahren (Zdunkowski *et al.* 1982), Vierstrom-Verfahren (Liou *et al.* 1988), Diskrete-Ordinate-Methode (DISORT, Stamnes *et al.* 1988) zur 1D-Simulation von spektralen Strahlungsflussdichten, aktinischen Flussdichten und Heizraten.

Das Modellpaket wurde bislang auf Messdaten von ACE-2 (Aerosol Characterization Experiment, 1997) für Aerosolgrößenverteilungen außerhalb und innerhalb einer Staubschicht angewendet. Diese Messdaten wurden im Rahmen einer Kooperation mit dem Institut für Physik der Atmosphäre der Universität Mainz (Prof. Dr. S. Borrmann und Dr. M. deReus) zur Verfügung gestellt. Abb. 3-30 links zeigt die kumulativen Banden-gemittelten Extinktionskoeffizienten als Funktion des Partikeldurchmessers im Höhenlevel von ca. 4000 m, wobei die Banden 1 bis 7 den solaren (bis ca. 4,5 μm) und die weiteren den infraroten Spektralbereich abdecken: Die großen Mineralstaub-Partikel ab 10 μm tragen bis ins Infrarote bis zu 50% zum Extinktionskoeffizienten bei. Der rechte Teil von Abb. 3-30 veranschaulicht dagegen die über die Größenverteilung integrierten Extinktionskoeffizienten als Funktion der Höhe: deutlich erkennt man die Mineralstaub-schicht um das Höhenlevel von ca. 4000 m als Maximum der Extinktion, zu der vor allem die solaren Anteile beitragen.

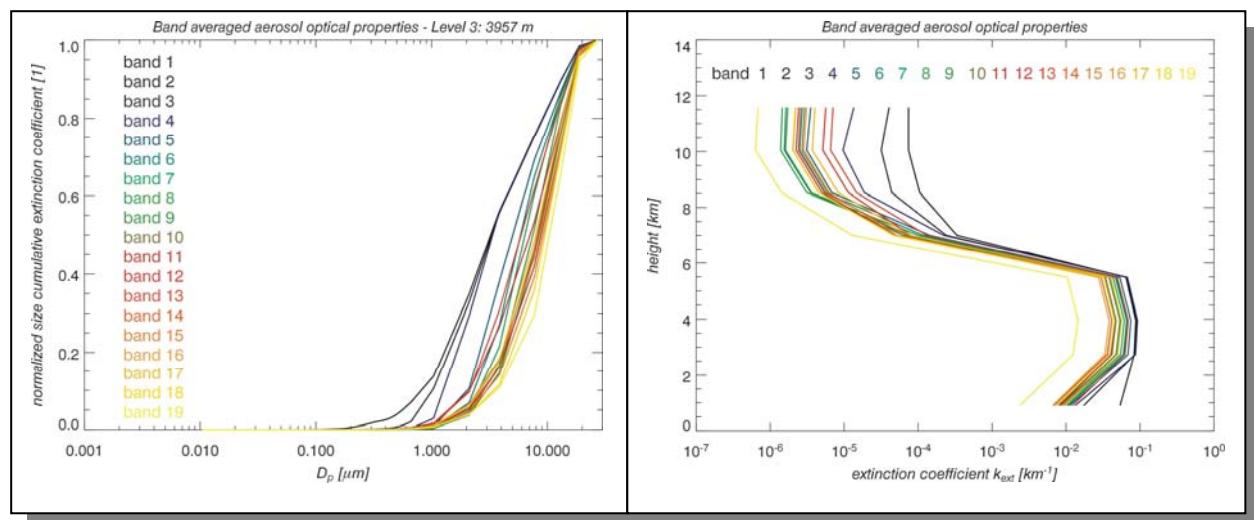


Abb. 3-30: Links: Auf den größten gemessenen Partikeldurchmesser normierte kumulative Extinktionskoeffizienten im Höhenlevel von ca. 4000 m für die spektralen Banden. Rechts: Banden- und größengemittelter Extinktionskoeffizient als Funktion der Höhe (8 Messlevels).

Die sich daraus ergebenden Heizraten sind in Abb. 3-31 dargestellt. Es ergeben sich Erwärmungsraten von bis zu 5 K/d, wobei es ober- und unterhalb der Staubschicht zu Abkühlung und innerhalb dieser zu einer Erwärmung kommt. In diese Simulation eingegangen sind eine spektrale Bodenalbedo über Ozean, eine in unteren Schichten den meteorologischen Messdaten angepasste Standardatmosphäre (AFGL midlatitude summer), die Gasabsorption entsprechend einer spektralen Auflösung von 10 cm^{-1} (Voigt-Linienprofil mit einem Linien-Cutoff von 25 cm^{-1}) und CKD-Wasserdampfkontinuum nach Clough *et al.*, 1989 sowie die Rayleigh-Streuung an Luftmolekülen (Nicole, 1984).

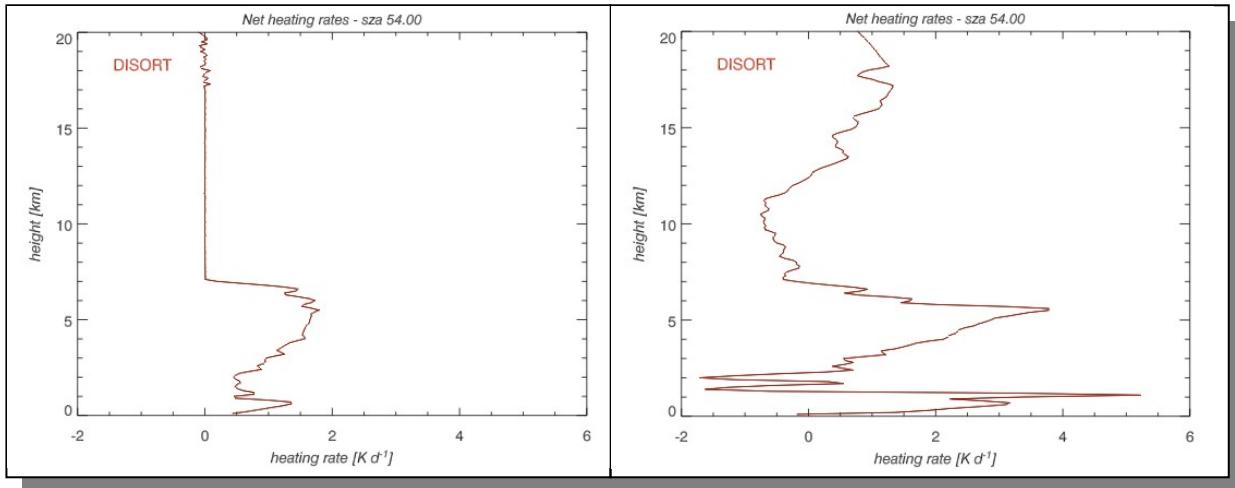


Abb. 3-31: Über das solare und thermische Spektrum integrierte Netto-Heizrate ohne (links) und mit (rechts) Gasabsorption, die im gezeigten Höhenbereich vor allem durch den Wasserdampf dominiert wird

zitierte Literatur:

- Clough, S.A., F.X. Kneizys, E.W. Davies:* Line shape and the water vapour continuum, *Atmos. Res.*, 23, 229-241, 1989
- IPCC 2001:* Climate Change 2001 – The Scientific Basis, Cambridge University Press, ISBN 0521014956, 944 S., 2001
- Liou, K.-N., Q. Fu, T.P. Ackerman:* A simple formulation of the delta-four-stream approximation for radiative transfer parameterization. *J. Atmos. Sci.*, 45, 1940-1947, 1988
- Mishchenko, M.I., L.D. Travis:* T-matrix computations of light scattering by large spheroidal particles, *Optics Commun.*, 109, 16-21, 1994
- Nicolet, M.:* On the molecular scattering in the terrestrial atmosphere: An empirical formula for its calculation in the homosphere, *J. Geophys. Res.*, 91, 1467-1468, 1984
- Stamnes, K., S.-C. Tsay, W.J. Wiscombe, K. Jayaweera:* Numerically stable algorithm for discrete-ordinates-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media, *Appl. Opt.*, 27, 2502-2509, 1988
- Zdunkowski, W.G., W.-G. Panhans, R.M. Welch, G.J. Korb:* A radiation scheme for circulation and climate models, *Contrib. Phys. Atmos.*, 55, 215-238, 1982

3.19 Entwicklung von 3D-Strahlungstransportparametrisierungen

M. Jerg (Uni Leipzig), T. Trautmann

Zentraler Bestandteil des bearbeiteten Teilprojekts des Verbundprojekts „4D Wolken“ ist die Entwicklung von Strahlungstransportparametrisierungen, welche die 3D-Wechselwirkung der (solaren) Strahlung mit inhomogenen Wolken beschreiben. Dabei ist die Anwendbarkeit für Strahlungstransportrechnungen in Wetter- bzw. Klimamodellen von zentraler Bedeutung. Unter den verschiedenen prinzipiell in Frage kommenden Parametrisierungsansätzen (Davis, 2000) scheint primär die Tilted Independent Pixel Approximation – TIPA (Várnai *et al.*, 1999) am geeignetsten. Bei der hier realisierten Variante wird der Pfad des direkten Sonnenlichtes vom Modelloberrand quer durch alle geschnittenen Modellzellen verfolgt. Die Koordinaten der Schnittpunkte werden erfasst und zusammen mit den Längen der Schnittlinien wird für jedes Pixel eine neue schräge Koordinate mit entsprechenden neuen optischen Eigenschaften aufgebaut (siehe Abb. 3-32). In dieser neuen Koordinate kann dann wie bisher mit einem beliebigen 1D-Strahlungstransportmodell gerechnet werden. Das Ziel ist, 3D-Effekte, die auf horizontalen Skalen, welche für Wettervorhersagemodelle typisch sind (ca. 3-7 km), erfassen zu können. Hierzu zählt insbesondere die verbesserte Wiedergabe des Wolkenschattens am Boden. Beim herkömmlichen Independent Pixel Verfahren ist dieser unabhängig von der Sonnenbeleuchtung. Daher wurden im Laufe des Jahres 2005 folgende Arbeiten durchgeführt:

- Die TIPA-Methode wurde mittels geometrischer Berechnung des direkten Strahles realisiert.
- Es wurde die Möglichkeit geschaffen eine inverse Transformation anzuwenden, um die Ergebnisse, die in der schrägen Koordinate erhalten wurden, auf das ursprüngliche Gitter zurückzutransformieren. Dadurch wird echte 3D-Auflösung erreicht.
- Die entstehende neue Vertikalkoordinate wurde an das Modell DISORT (*Stamnes et al., 1988*) angekoppelt, und mit idealisierten Wolken wurden die grundlegenden Eigenschaften der TIPA untersucht.
- In Kooperation mit dem meteorologischen Institut der LMU wurden aus Modelloutput des Lokalen Modells (LM) des DWD (*Doms et al., 2003*) und dessen Strahlungstransportmoduls Wolkenfelder rekonstruiert und die TIPA auf diese angewandt.

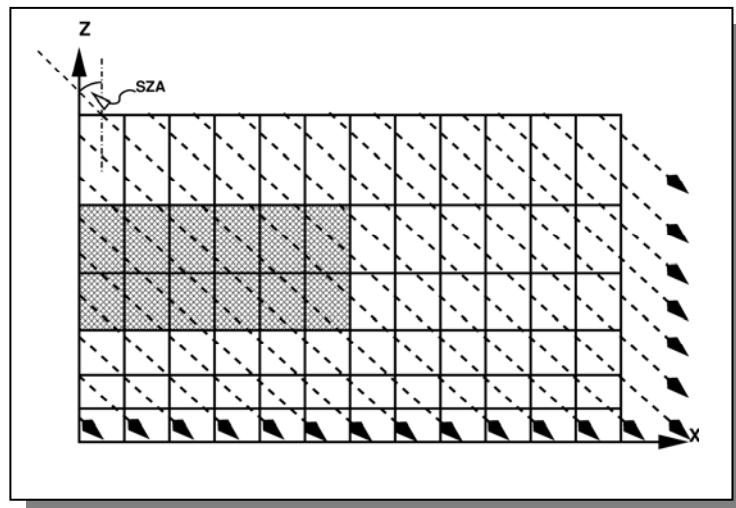


Abb. 3-32: Konzept der geometrischen TIPA mit periodischen Randbedingungen

Ergebnisse

In Abb. 3-33 ist eine typische abgeleitete LM-Wolkenszene zu sehen, während Abb. 3-34 die Histogramme der absoluten Differenzen von Transmission und Reflektion (Albedo) der IPA bzw. TIPA Rechnung gegenüber dem 3D Monte-Carlo Resultat darstellt (siehe dazu den Beitrag von S. Gimeno-Garcia in Kap. 3.20). Wie man erkennen kann, hat die TIPA den Vorteil, dass keine extremen Ausreißer auftreten und dass die Verteilungen insgesamt schmäler sind. Bei den Gebietsmitteln zeigt TIPA keinen Vorteil gegenüber der IPA, was jedoch bei einer Auflösung von 2.8 km auch nicht zu erwarten ist.

Da auch die TIPA keinen Photonenaustausch zwischen den Säulen zulässt, wurde die *Nonlocal Independent Pixel Approximation – NIPA* (*Marshak et al., 1998*) ebenfalls ins Auge gefasst. Hierbei wird mittels eines geeigneten Faltungskerns der Strahlungsbeitrag benachbarter Pixel berücksichtigt. Es ist beabsichtigt, diese Methode sowohl als selbstständigen Parametrisierungsansatz als auch in Kombination mit der TIPA anzuwenden. Um die Faltungsparameter physikalisch sinnvoll und dennoch unabhängig von mehrdimensionalen Strahlungstransportrechnungen bestimmen zu können, wurde die Diffusionsapproximation eingesetzt. Diese aus dem Neutronentransport stammende Technik erlaubt die analytische Lösung für bestimmte idealisierte Strahlungstransportprobleme. Mit ersten Ergebnissen ist jedoch erst im kommenden Jahr zu rechnen.

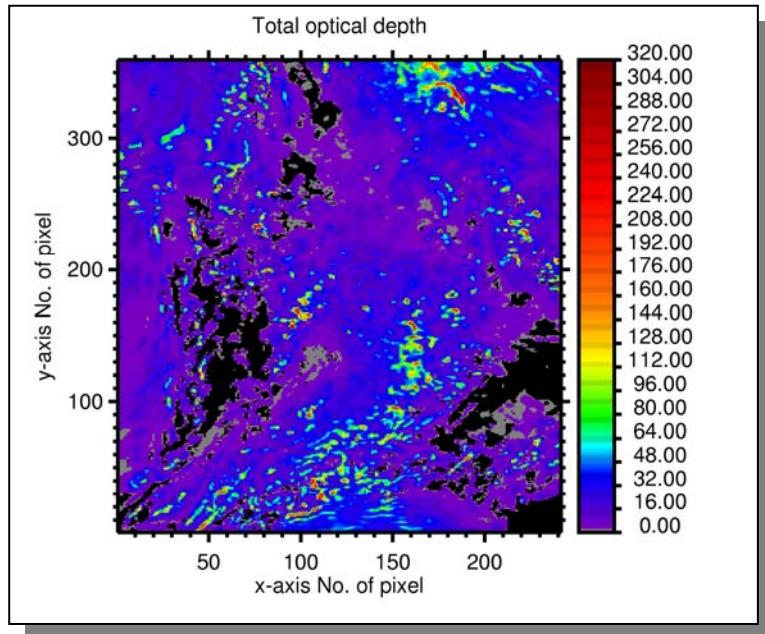


Abb. 3-33: Totale optische Dicke eines LM-Wolkenfeldes

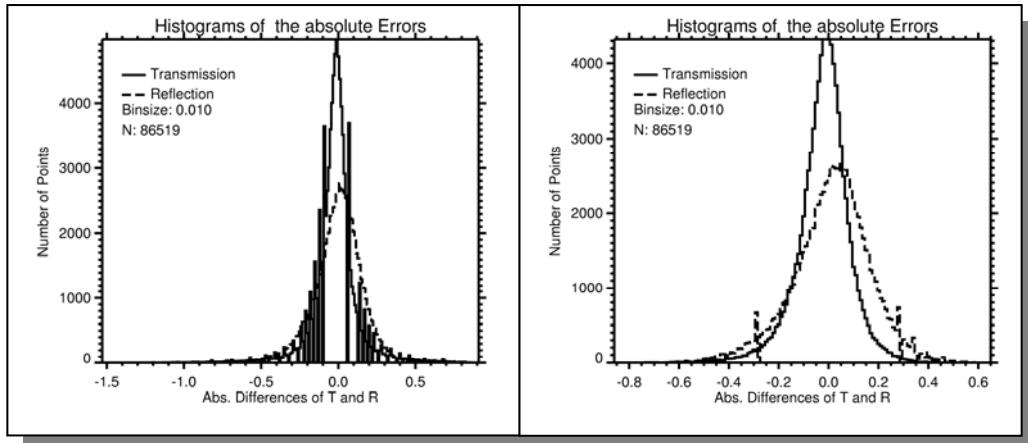


Abb. 3-34: Histogramme der absoluten Differenzen zwischen IPA und 3D Monte-Carlo (links) und TIPA und 3D Monte-Carlo (rechts)

zitierte Literatur:

- Davis, A.: URL <http://i3rc.gsfc.nasa.gov/approximations.html>, 2000
- Doms, G., Schättler, U., Schulz, J.-P.: Kurze Beschreibung des Lokal-Modells LM und seiner Datenbanken auf dem Datenserver (DAS) des DWD, Deutscher Wetterdienst (DWD), Geschäftsbereich Forschung und Entwicklung, September 2003
- Marshak, A., Davis, A., Cahalan, R.F., Wiscombe, W.: Nonlocal independent pixel approximation: Direct and inverse problems, IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens., 36, 192–205, 1998
- Stamnes, K., Tsay, S.C., Wiscombe, W., Jayaweera, K.: Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media, Applied Optics, 27, 2502–2509, 1988
- Várnai, T. and Davies, R.: Effects of cloud heterogeneities on shortwave radiation: Comparison of cloud-top variability and internal heterogeneity, J. Atmos. Sci., 56, 4206-4224, 1999

3.20 3D-Strahlungstransporteffekt in gemessenen und stochastisch generierten Wolken

S. Gimeno García (Universität Leipzig), V. Venema (Universität Bonn), T. Trautmann

Die physikalischen Prozesse, die den Strahlungstransport (ST) in der Atmosphäre steuern, sind gut verstanden. Bei gegebenen dreidimensionalen (3D) Verteilungen von Aerosolen, Gasen und Wolken kann das vollständige Strahlungsfeld unmittelbar berechnet werden. Jedoch behindert der Zeitaufwand von solchen vollständigen Rechnungen auch noch heutzutage die Einbindung in operative Wettervorhersage- und Klimamodelle. Die ST-Berechnungen können beschleunigt werden, wenn man eindimensionale Rechnungen auf jeder „Säule“ des Wolkenfeldes durchführt und die Nettostrahlungsübertragung zwischen den einzelnen Säulen vernachlässigt. Unter bestimmten Voraussetzungen wird dieses Verfahren die horizontal gemittelten Ergebnisse der 3D-Berechnungen gut annähern (Cahalan et al., 1994). In höchst inhomogenen Wolkenszenarien wird jedoch die Vernachlässigung der horizontalen Flüsse zu großen Abweichungen führen. Wie gut man mittels 1D-Rechnungen den Strahlungstransport in 3D inhomogenen bewölkten Atmosphären modellieren kann, ist einer der Forschungsschwerpunkte in der Gemeinde der Strahlungstransportexperten (Di Giuseppe und Tompkins, 2003; Zuidema und Evans, 1998; Pincus et al., 2005).

Der 3D-Strahlungstransporteffekt, im Folgenden „3D-Effekt“ genannt, ist definiert als der Unterschied zwischen der vollständigen 3D-Berechnung und der oben beschriebenen Berechnung auf Basis der sogenannten Independent Column Approximation (ICA, Cahalan et al., 1994). Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass der 3D-Effekt die Komponente des Strahlungsfeldes ist, die durch 1D-Berechnungen nicht erfasst werden kann. Auch wenn dieses Phänomen in der Natur nicht auftritt, interessiert seine Untersuchung die Experimentatoren und Modellierer, da es eine der größten Fehlerquellen in ihren Retrievalalgorithmen bzw. Strahlungstransportroutinen darstellt. Da der 3D-Effekt von jedem Aspekt der Wolkenstruktur abhängt, werden zahlreiche realistische Wolkenszenarien benötigt, um eine gute Schätzung des 3D-Effekts zu erhalten.

Gegenwärtig gibt es keine Messtechnik, mit denen man die 3D-Verteilungen der mikrophysikalischen Eigenschaften der Wolken zuverlässig gewinnen kann. Mit Hilfe von aktiven (Wolkenradar und Lidar) und passiven (Mikrowellenradiometer) Messgeräten kann man jedoch ein 2D-Bild der Wolke konstruieren (Löhner et al., 2004). Auch wenn diese Methode die volle 3D-Struktur der Wolken nicht erfasst, können die so gewonnenen 2D-Wolkenabbilder dennoch für die Untersuchung der 3D-Strahlungseffekte benutzt werden. Stochastische Wolkengeneratoren erlauben, 3D-Wolken mit der selben Amplitudenverteilung und dem selben Powerspektrum wie die gemessenen Wolken zu generieren (Venema et al., 2006).

In dieser Studie werden 15 in der BBC2-Messkampagne im Mai 2003 in Cabauw (Holland) gemessene Wolken verwendet. Hinzu kommen je gemessener Wolke zwei mit Hilfe der Iterative Amplitude Adaptive Fourier Transform (IAFFT) generierte Wolken (insgesamt 30).

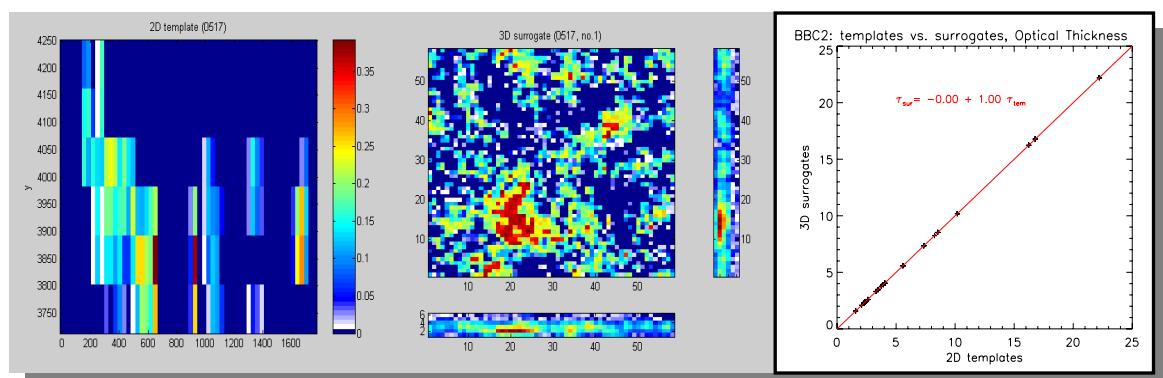


Abb. 3-35: Links: Abschnitt von der am 17.5.2003 gemessenen Zeitreihe des Flüssigwassergehaltes (FWG) [g/m^3] einer Altostratuswolke. Mitte: XY-, XZ- und YZ-Projektionen des FWGs der aus dem linken Abschnitt mit IAAFT generierten Wolke. Rechts: Mittelwert der optischen Dicke (optical thickness) der 30 generierten Wolken (surrogates) gegenüber dem Mittelwert der optischen Dicke der 15 gemessenen Wolken (templates).

Die Strahlungstransportrechnungen (STR) werden mittels des Leipziger Monte Carlo Modells (LMCM) (*Gimeno und Trautmann, 2003*) durchgeführt. Im Kurzwelligen – hier ist Vielfachstreuung der Photonen der wichtigste Strahlungsprozess – ist der 3D-Effekt am größten. Es werden 10⁷ Photonen je Realisierung benutzt ohne dabei atmosphärische Effekte zu berücksichtigen, d.h. die Wolken befinden sich in Vakuum eingebettet. Die optischen Eigenschaften der Wolken wurden mit Hilfe der Mie-Theorie für eine Wellenlänge von 500 nm berechnet, wobei der Sonnenazimutwinkel (SAW) auf 0° gesetzt und der Sonnenzenitwinkel (SZW) auf 0° bzw. 60° gesetzt sind. Alle Simulationen werden voll 3D und approximativ mit der ICA gerechnet.

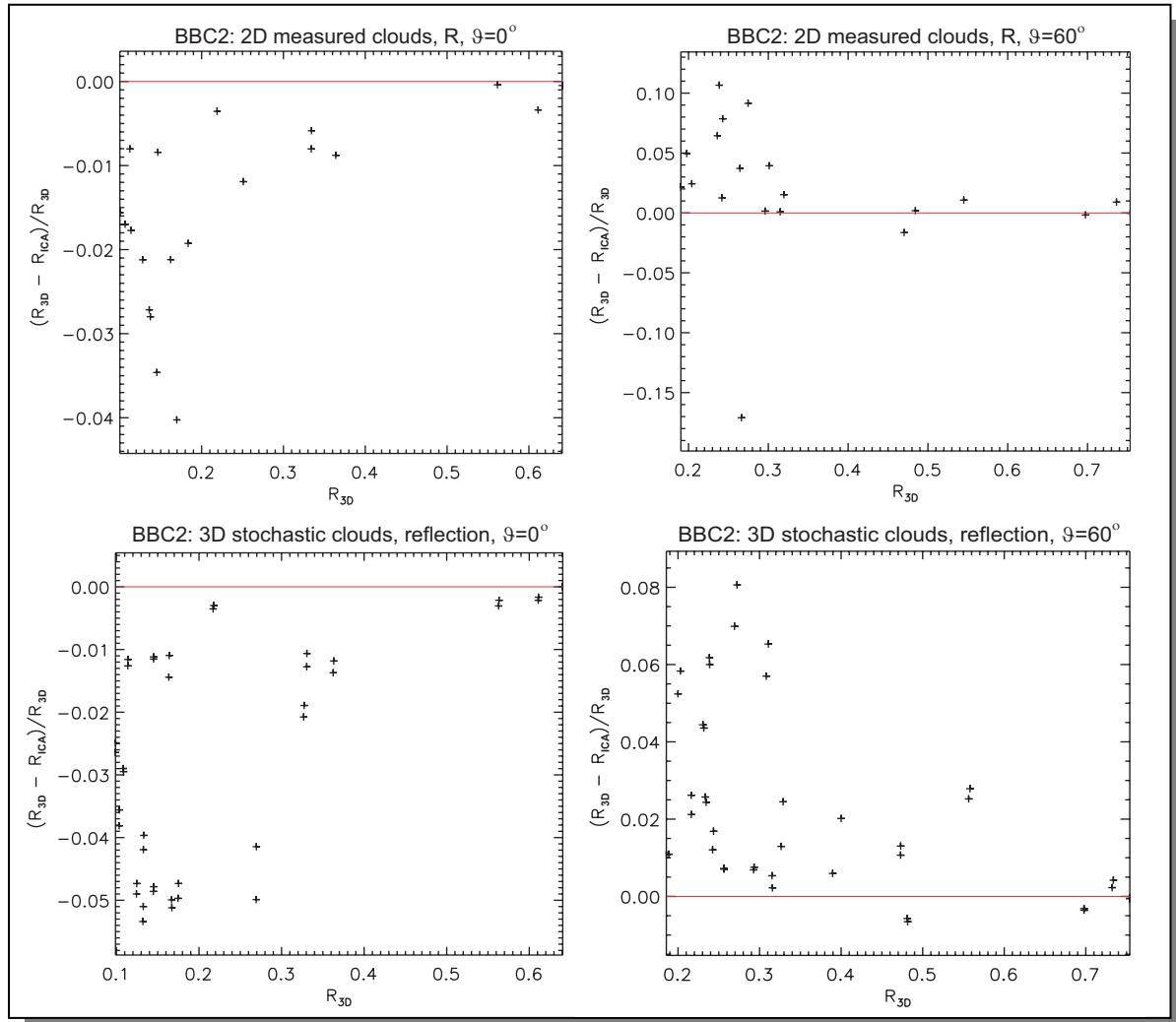


Abb. 3-36: Oben: 3D-Effekt in gemessenen Wolken für einen Sonnenzenitwinkel von 0° (links) und 60° (rechts). Unten: 3D-Effekt in stochastisch generierten Wolken für einen Sonnenzenitwinkel von 0° (links) und 60° (rechts).

Bei hohem Sonnenstand (SZW = 0°) können die Photonen in den vollständigen ST-Berechnungen die Wolke seitwärts durch die Kanten in Richtung Erdoberfläche verlassen und dadurch einen größeren Beitrag zu der Transmission bzw. einen kleineren Beitrag zur Reflektion hervorrufen. Wie zu erwarten war, liefern die 3D-Berechnungen eine größere Reflektion als die ICA-Berechnungen. Dieser Effekt ist in den beiden linken Teilen von Abb. 3-36 zu sehen. Für niedrige Sonnenstand (SZW = 60°) können die Photonen durch die Seiten in die Wolken eintreten und, nach Streuprozessen innerhalb der Wolke, aufwärts weiter fliegen und zur Reflektion beitragen. Die Reflektion wird also in diesem Fall größer für 3D- als für ICA-Berechnungen sein, was die beiden rechten Teile der Abb. 3-36 illustrieren. Nur bei einer einzigen der gemessenen Wolken (Abb. 3-36 rechts oben, darin der Punkt links unten) trifft dies nicht zu. Diese Wolke war eine frontale Wolke, deren Ober- und Unterseite eine deutliche Neigung aufweist. Man kann sie deshalb unter allen betrachteten Wolken eher als eine Ausnahme ansehen.

Die 3D-generierten Wolken bieten den einkommenden Photonen mehr Kanten, da sie Variabilität in der dritten Dimension haben. Dies begründet in solchen Wolken stärkere Ausbildung von horizontalem Transport bzw. 3D-Effekten. Gegenwärtig befassen wir uns mit der Fragestellung, in welcher Weise

Reflektion und Transmission der 2D- und 3D-Wolken von der azimutalen Beleuchtungsrichtung der Sonne abhängen.

zitierte Literatur:

Cahalan, R. F., W.Ridgway, W.J. Wiscombe, S.Gollmer, Harshvardhan: Independent Pixel and Monte Carlo estimates of stratocumulus albedo, Journal of Atmospheric Sciences, 51, 3776-3790, 1994

Di Giuseppe, F., A. M. Tompkins: Effect of spatial organization on solar radiative transfer in three-dimensional idealized stratocumulus cloud fields, J. Atmos. Sci., 60, 1774–1794, 2003

Gimeno G., S., T. Trautmann: Radiative transfer modeling in inhomogeneous clouds by means of the Monte Carlo Method, Wiss. Mitt. Leipziger Inst. f. Meteorologie, 30, 29-43, 2003

Löhnert, U., S. Crewell and C. Simmer: An integrated approach towards retrieving physically consistent profiles of temperature, humidity, and cloud liquid water, Journal of Applied Meteorology, 43, 1295-1307, 2004

Pincus, R., C. Hannay, F. Evans: The accuracy of determining three-dimensional radiative transfer effects in cumulus clouds using ground-based profiling instruments, Journal of the Atmospheric Sciences, 62, 2284-2293, 2005

Venema, V., S. Meyer, S. Gimeno G., A. Kniffka, C. Simmer, S. Crewell, U. Löhnert, T. Trautmann, A. Macke: Surrogate cloud fields generated with the Iterative Amplitude Adapted Fourier Transform algorithm, Tellus, 58 A, 104-120, 2006

Zuidema, P., K. F. Evans: On the validity of the independent pixel approximation for boundary layer clouds observed during ASTEX, J. Geophys. Res., 103, 6059–6074, 1998

4. Veröffentlichungen, Vorträge und Tagungen

4.1 Zeitschriftenartikel

Doicu, A., F. Schreier, M. Hess: An iterative regularization method with B-spline approximation for atmospheric temperature and concentration retrievals, *Environmental Modelling & Software*, 20, 1101-1109, 2005

Doicu, A., F. Schreier, S. Hilgers, M. Hess: Multi-parameter regularization method for atmospheric remote sensing, *Computer Physics Communications*, 165, 1-9, 2005

Doicu, A., T. Trautmann, F. Schreier, M. Hess: Finite element method for the two-dimensional atmospheric radiative transfer, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 91(3), 347-361, 2005

Eskes, H.J., R.J. van der A, E.J. Brinksma, J.P. Veefkind, J.F. de Haan, and P.J.M. Valks: Retrieval and validation of ozone columns derived from measurements of SCIAMACHY on Envisat, *Atmos. Chem. Phys. Disc.*, Vol. 5, pp 4429-4475, 2005

Fix A., G. Ehret, H. Flentje, G. Poberaj, M. Gottwald, H. Finkenzeller, H. Bremer, M. Bruns, J.P. Burrows, A. Kleinböhl, H. Küllmann, J. Kuttippurath, A. Richter, P. Wang, K.-P. Heue, U. Platt, and T. Wagner: SCIAMACHY validation by aircraft remote measurements. Design, execution and first results of the SCIA-VALUE mission, *Atmos. Chem. Phys.*, Vol. 5, 1273-1289, 2005

Gottwald, M.: Das Bild der Erde aus dem Weltraum, Teil 1: Der sublunare Standpunkt, *Sterne und Weltraum*, 11, 24-34, 2005

Gottwald, M.: Das Bild der Erde aus dem Weltraum, Teil 2: Jenseits des Mondes, *Sterne und Weltraum*, 12, 20-26, 2005

Gottwald, M.: Die Entstehung des Planetensystems, *Astronomie und Raumfahrt*, 5, 23-26, 2005

Jäkel, E., M. Wendisch, A. Kniffka, T. Trautmann: Airborne system for fast measurements of upwelling and downwelling spectral actinic flux densities, *Applied Optics*, 44(3), 434-444, 2005

Jacquinot-Husson, N., N.A. Scott, A. Chédin, K. Garceran, R. Armante, A.A. Chursin, A. Barbe, M. Birk, L.R. Brown, C. Camy-Peyret, C. Claveau, C. Clerbaux, P.F. Coheur, V. Dana, L. Daumont, M.R. Debacker-Barily, J.M. Flaud, A. Goldman, A. Hamdouni, M. Hess, D. Jacquemart, P. Köpke, J.Y. Mandin, S. Massie, S. Mikhailenko, V. Nemtchinov, A. Nikitin, D. Newnham, A. Perrin, V.I. Perevalov, L. Régalias-Jarlot, A. Rublev, F. Schreier, L. Schult, K.M. Smith, S.A. Tashkun, J.L. Teffo, R.A. Toth, V.G. Tyuterev, J. Vander Auwera, P. Varanasi, G. Wagner: The 2003 edition of the GEISA/IASI spectroscopic database, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 95, 429 - 467 doi:10.1016/j.jqsrt.2004.12.004, 2005

Melsheimer, C., C. Verdes, S.A. Buehler, C. Emde, P. Eriksson, D.G. Feist, S. Ichizawa, V.O. John, Y. Kasai, G. Kopp, N. Koulev, T. Kuhn, O. Lemke, S. Ochiai, F. Schreier, T.R. Sreerekha, M. Suzuki, C. Takahashi, S. Tsujimaru, J. Urban: Intercomparison of general purpose clear sky atmospheric radiative transfer models for the millimeter/submillimeter spectral range, *Radio Science*, 40(1), RS1007 - doi: 10.1029/2004RS003110, 2005

Qin, Y., M.A. Box, T. Trautmann: Accelerated higher order radiative perturbation computation: An application of GDOM, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 92, 73-83, 2005

Rother, T.: Self-consistent Green's function formalism for acoustic and light scattering, Part 1: Scalar notation, *Optics Communications*, 251, 254-269, 2005

Rother, T.: Self-consistent Green's function formalism for acoustic and light scattering, Part 2: Dyadic notation, *Optics Communications*, 251, 270-285, 2005

Spurr, R., D. Loyola, W. Thomas, W. Balzer, E. Mikusch, B. Aberle, S. Slijkhuis, T. Ruppert, M. van Roozendael, J.-C. Lambert, T. Soebijanta: GOME level 1-to-2 data processor version 3.0: a major

upgrade of the GOME ERS-2 total ozone retrieval algorithm, *Applied Optics*, 44(33), 7196-7209, 2005

Tank, V., M. Hess, F. Schreier, E. Lindermeier: Remote detection and quantification of hot combustion products - Experimental instrumentation and determination of optimal infrared spectral micro windows, *Journal of Molecular Structure*, 744-747, 235-242, 2005

4.2 Proceedingsbeiträge

Burkhardt, U., R. Sausen, S. Brinkop, J. Egger, C. Fichter, G. Gesell, B. Hildenbrand, C.W. König, M. Mech, R. Meerkötter, M. Ponater, G. Schwarz, A. Stenke: COBI: The Cold Bias in Atmosphere General Circulation Models, Tagungsband DEKLIM-Abschluss-Symposium, 2005

Drescher, A., R. Sandau: A Multiple Satellite Concept for Severe Weather Monitoring, Tagungsband Small Satellites for Earth Observation, Proceedings of the 5th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation, Berlin, 4.-8. April 2005, H.-P. Röser, R. Sandau, A. Valenzuela (eds.), ISBN:3-11-018851-1, 2005

4.3 Dokumente und Berichte

Bittner, M., F. Baier, T. Erbertseder, G. Gesell, K. Günther, T. Holzer-Popp, M. Schroedter-Homscheidt, T. Trautmann, D. Loyola, B. Mayer: Satellitenbasierte Fernerkundung klimarelevanter Parameter in der Atmosphäre im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR, 2005

Huber, D.: Input/Output Data Definition ADM-Aeolus L2A-Product, AE.TN.DLR.IODD L2A.010905, 01 September 2005

Huber, D., Leike, I., Reitebuch, O., Tan, D.: Aeolus Product Modifications for Implementation in L1bP Code V2, AE.TN.DLR.APM-L1B.121205, 12 December 2005

Huber, D., Leike, I.: Additional Computational Steps ADM-Aeolus L1B, AE.TN.DLR.ACS L1B.121205, 12 December 2005

Kniffka, A., T. Trautmann: Aktinische Strahlungsflussdichte und die spektrale und räumliche Variabilität der Bodenalbedo, 2005

Slijkhuis, S.: CHEOPS-GOME Detailed Processing Model, Level 0 to 1 Processing Update, CH-TN-DLR-GO-0004, 15 March 2005

Slijkhuis, S.: SCIAMACHY Level 0 to 1c Processing, Algorithm Theoretical Basis Document, ENV-ATB-DLR-SCIA-0041 Issue 4, 19 May 2005

Slijkhuis, S.: SCIAMACHY Level 0-1b Data Processing, Note on Computational Resources for upgrade to DPM version 4, ENV-TN-DLR-SCIA-0063 Issue 1, 2 September 2005

Slijkhuis, S.: SCIAMACHY Level 0-1b Data Processing, Configuration Management of Level 0-1b Auxiliary Data Files, ENV-CMA-DLR-SCIA-0062 Issue 1, 2 September 2005

Slijkhuis, S.: SCIAMACHY Level 0 to 1b Processing, Detailed Processing Model / Parameter Data List, ENV-TN-DLR-SCIA-0006 Issue 4/B, 9 November 2005

Schwarz, G.: Aeolus L1B Data Quality and Plausibility: Proposed PCD ADS Extensions, AE.TN.DLR.PCD-ADS-Extensions, 24 October 2005

4.4 Vorträge, Poster und Pressemitteilungen

Burkhardt, U., R. Sausen, S. Brinkop, J. Egger, C. Fichter, G. Gesell, B. Hildenbrand, C.W. König, M. Mech, R. Meerkötter, M. Ponater, G. Schwarz, A. Stenke: COBI: The Cold Bias in Atmosphere General Circulation Models, Tagungsband DEKLIM-Abschluss-Symposium, 2005

Doicu, A.: Inverse Probleme in der passiven atmosphärischen Fernerkundung: II. Inversionsverfahren, Universität Göttingen, Institut für Numerische und Angewandte Mathematik, 26. Juli 2005

Drescher, A., R. Sandau: A Tandem Satellite Concept for Atmospheric Profiling, 4th Int. Workshop on Satellite Constellations and Formation Flying, 13.-16. Februar 2005, São José dos Campos, Brasilien

Gottwald, M.: Die Entstehung des Sonnensystems, eingeladener Vortrag, Planetarium Hamburg, 21. Oktober 2005

Gwinner, K., E. Hauber, J. Oberst, the HRSC Instrument Team, G. Schwarz: Mars Express DTM Comparisons, 6th DLR-CNES Workshop, Oberpfaffenhofen, 15.-17. November 2005

Jerg, M., Gimeno-García, S., Trautmann, T.: Solar radiative transfer parameterizations in 3D: application of the perturbation theory and a variant of the tilted independent pixel approximation, Poster, Gordon Research Conference on Radiation and Climate, Colby College, Waterville, Maine USA, 24.-29. Juli 2005

Loyola D., M. Van Roozendael, R. Spurr, D. Balis, J.-C. Lambert, Y. Livschitz, P. Valks, T. Ruppert, P. Kenter, C. Fayt, C. Zehner: 10 years GOME/ERS-2 – The operational GDP 4.0 total column products, Joint Aura, Envisat, GOME, ACE Science Team Meeting on Atmospheric Constituents, The Hague, November 2005

Loyola D., W. Thomas, T. Ruppert: Comparison of Cloud properties derived from GOME/ERS-2 and MSG/SEVIRI data: A case study for Europe, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Dubrovnik, September 2005

Loyola D.: Achievements of the GOME off-line and near-realtime ground segment, 10 Years of GOME on ERS-2 Workshop, ESA/ESTEC, Noordwijk, April 2005

Mendrok, J.: (Pseudo)Sphärische Strahlungstransfermodellierung emittierender und streuernder Atmosphären, Seminarreihe *Aktuelle Ergebnisse aus der flugzeug- und satellitengestützten Fernerkundung*, Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin, 15. März 2005

Mendrok, J.: (Pseudo)Spherical Radiative Transfer Modeling for Emitting and Scattering Atmospheres, 7. International Radiative Transfer Modeling Workshop, Bredbeck, 20.-23. Juni 2005

Mendrok, J.: Strahlungstransfer – thermales Infrarot und Streuung: Modellvalidierung und Anwendung I, Seminarreihe *Aktuelle Ergebnisse aus der flugzeug- und satellitengestützten Fernerkundung*, Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin, 22. September 2005

Mendrok, J.: Strahlungstransfer – thermales Infrarot und Streuung: Modellvalidierung und Anwendung II, Seminarreihe *Aktuelle Ergebnisse aus der flugzeug- und satellitengestützten Fernerkundung*, Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin, 1. Dezember 2005

Mendrok, J.: Strahlungstransfer – thermales Infrarot und Streuung: Detektion von Zirren in MPAS-Spektren, Mitarbeiterversammlung des Instituts für Methodik der Fernerkundung, DLR Berlin, 7. Dezember 2005

Oberst, J., G. Schwarz, T. Behnke, H. Hirsch, K.-D. Matz, J. Flohrer, V. Mertens, F. Scholten, B. Brinkmann, T. Roatsch, H. Hoffmann, R. Jaumann, G. Neukum, and the HRSC Co-I Team: The performance of HRSC's Super Resolution Channel (SRC), 1st Mars Express Science Conference, Noordwijk, 21.-25. Februar 2005

Oberst, J., G. Schwarz, T. Behnke, H. Hirsch, H. Hoffmann, R. Jaumann, D. Williams, A. Cord, G. Neukum, the HRSC Co-Investigator Team: The Performance of HRSC's Super Resolution Channel (SRC), General Assembly of the European Geosciences Union, Wien, 24.-29. April 2005

Sausen, R., S. Brinkop, U. Burkhardt, J. Egger, G. Gesell, B. Hildenbrand, C.W. König, R. Meerkötter, M. Ponater, G. Schwarz, A. Stenke: COBI: Der Cold Bias in Modellen der Allgemeinen Atmosphärischen Zirkulation, DEKLIM-Abschluss-Symposium, Leipzig, 10.-12. Mai 2005

Schreier, F.: Inverse Probleme in der passiven atmosphärischen Fernerkundung: I. Hintergrund und Vorwärtsmodell (Atmosphärischer Strahlungstransfer), Universität Göttingen, Institut für Numerische und Angewandte Mathematik, 26. Juli 2005

Schreier, F.: Analyse-Verfahren von atmosphärischen IR-Fernmessungen in: CCG Seminar SE 1.02 Infrarot-Technik – Grundlagen und moderne Anwendungen, Oberpfaffenhofen, Oktober 2005

Schreier, F.: MIRART - A High-Resolution Line-by-Line Atmospheric Radiation Code with Algorithmic Derivatives, DLR - Institut für Planetenforschung, Berlin-Adlershof, 1. Dezember 2005

Schwarz, G., A. Drescher, M. Ponater, R. Sausen, U. Burkhardt: COBI: Klimatologische Wasserdampfprofile aus MIPAS-Daten, DEKLIM-Abschluss-Symposium, Leipzig, 10.-12. Mai 2005

Wahl, S., S. Slijkhuis, B. Aberle, D. Loyola: Long Term Monitoring of GOME/ERS-2 Calibration Parameters, Workshop 10 Years GOME on ERS-2, ESTEC, 20. April 2005

Wauer, J. , T. Ernst: Web-enabling scientific software – The DLR Virtual Scattering and Remote Sensing Lab, 2005 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference Dubrovnik, Croatia, 19.-23. September 2005

Wauer, J., T. Rother: Scattering of Plane Waves on Periodical Surfaces within the Framework of the Generalized Mie-Theory, TiSCoPDE05, Berlin, 26.-28. September 2005

4.5 Besuchte Tagungen

5th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation, 4.-8. April 2005, Berlin

SCIAMACHY CO Intercomparison Workshop, 14. April 2005, SRON, Utrecht, Niederlande

Workshop 10 Years GOME on ERS-2, 20. April 2005, ESTEC, Noordwijk, Niederlande

DEKLIM-Abschlussssymposium, 10.-12. Mai 2005, Leipzig

Gordon Research Conference on Radiation and Climate, 24.-29. Juli 2005, Colby College, Waterville, Maine, USA

2005 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 19.-23. September 2005, Dubrovnik, Kroatien

TiSCoPDE05, 26.-28. September 2005, Berlin

Operationelle Satellitensysteme der Erdüberwachung, Nationaler Nutzerworkshop, DLR/DWD, 7.-9. November 2005, Walberberg, Bonn

6th DLR-CNES Workshop, 15.-17. November 2005, Oberpfaffenhofen

4.6 Diplom- und Doktorarbeiten

Gimeno-García, S.: Modellierung des solaren Strahlungstransports in 3D-inhomogener Bewölkung und Vergleich mit spektroradiometrischen Messungen. Dissertation, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Universität Leipzig. (Betreuer: Prof. Dr. Thomas Trautmann)

Hungershöfer, K.: Simulation des Strahlungstransports zur Rolle der Biomassenverbrennung für Chemie und Dynamik in der regionalen und globalen Skala. Dissertation, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Universität Leipzig. (Betreuer: Prof. Dr. Thomas Trautmann)

Jerg, M.: Parametrisierung des solaren Strahlungstransports in realistischer dreidimensionaler Bewölkung. Dissertation, Meteorologisches Institut, Ludwig-Maximilians-Universität München. (Betreuer: Prof. Dr. Susanne Crewell und Prof. Dr. Thomas Trautmann)

Kniffka, A.: Einfluss von Aerosol-, Wolken-, und Bodenbedehomogenitäten auf das dreidimensionale aktinische Strahlungsfeld in der Atmosphäre. Dissertation, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Universität Leipzig. (Betreuer: Prof. Dr. Thomas Trautmann)

Mendrok, J.: Infrarot-Strahlungstransfer und Streuprozesse. Dissertation, Freie Universität Berlin. (Betreuer: Prof. Dr. J. Fischer, Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin und Dr. F. Schreier, IMF-AP)

Otto, S.: Die Strahlungswirksamkeit von Saharastaub. Dissertation, Meteorologisches Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München. (Betreuer: Prof. Dr. Susanne Crewell und Prof. Dr. Thomas Trautmann)

Abkürzungen und Akronyme

ACE	Aerosol Characterization Experiment
ACP	Atmospheric Chemistry & Physics
ADF	Auxiliary Data File
ADM	Atmospheric Dynamics Mission
AFGL	Air Force Geophysics Laboratory
AIRS	Atmospheric Infrared Sounder
ALADIN	Atmospheric Laser Doppler Instrument
AMF	Air Mass Factor
AP	Atmosphärenprozessoren
ARTS	Atmospheric Radiative Transfer System
AUTH	Aristotle University of Thessaloniki
BIAS	Basic Infrared Absorption Spectroscopy
BIRA	Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie
BIRRA	Better InfraRed Retrieval Algorithm
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BUFR	<u>Binary</u> <u>Universal</u> <u>Form</u> for the <u>Representation</u> of meteorological data
CHEOPS	Climatology of Height-resolved Earth Ozone and Profiling Systems
CKD	Clough, Kneizys and Davies
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
CNRST	Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique
COBI	Cold Bias in Modellen der Allgemeinen Atmosphärischen Zirkulation
DARA	Deutsche Agentur für Raumfahrtangelegenheiten
DBPM	Dead & Bad Pixel Mask
DEKLIM	Deutsches Klimaforschungsprogramm
DE2S	DLR-eigener End-to-End Simulator
DFD	Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
DIMS	Data & Information Management System
DISORT	Discrete Ordinate Radiative Transfer
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DOAS	Differentielle Optische Absorptions-Spektroskopie
D-PAC	Deutsches Processing and Archiving Centre
D-PAF	Deutsche Processing and Archiving Facility
DPM	Detailed Processing Model
DPQC	Data Processing and Quality Control
DU	Dobson Unit
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ENVISAT	Environmental Satellite
ERS	European Remote Sensing Satellite
ESA	European Space Agency
ESL	Expert Support Lab
ESRIN	European Space Research Institute
ESTEC	European Space Technology Centre
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
EUMETCast	EUMETSAT broadcast system for environmental data
EV	Experimentelle Verfahren
FitMAS	Fit Molecular Absorption Spectra
FTS	Fourier Transform Spectrometer
FWG	Flüssigwassergehalt
GADS	Global Annotated Data Sets

GDP	GOME Data Processor
GEISA	Gestion et Etude des Informations Spectroscopiques Atmosphériques
GMES	Global Monitoring of Environment and Security
GOME	Global Ozone Monitoring Experiment
GOMETRAN	Strahlungstransfermodell der Universität Bremen
GW	Gewässerfernerkundung
HDF	Hierarchical Data Format
HGF	Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren eV
HITRAN	High Resolution Transmission Molecular Absorption
HLOS	Horizontal Line-of Sight
IAFFT	Iterative Amplitude Adaptive Fourier Transform
ICA	Independent Column Approximation
IECF	Instrument Engineering & Calibration Facility
IFE	Institut für Fernerkundung
ILS	Instrumentelle Linienprofil-Funktion
IMF	Institut für Methodik der Fernerkundung
IMK	Institut für Meteorologie und Klimaforschung
IPA	Institut für Physik der Atmosphäre
IPF	Instrument Processing Facility
IR	Infrarot
IRR	Interface Readiness Review
IUP	Institut für Umweltphysik
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KOPRA	Karlsruhe Optimized and Precise Radiative Transfer Algorithm
LIDORT	Linearized Discrete Ordinate Radiative Transfer
LM	Local Model
LMCM	Leipziger Monte Carlo Modell
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
MDA	MacDonald & Dettwiler
METOP	Meteorological Operational Polar Satellites of EUMETSAT
MIPAS	Michelson Interferometer Passive Atmospheric Sounder
MIRART	Modular Infrared Atmospheric Radiative Transfer
MLER	Minimum Lambert Equivalent Reflectivity
MODTRAN	Moderate Transmittance Code
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOZART	Model for Ozone and Related Chemical Tracers
MPI	Max-Planck-Institut
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIR	Near Infrared
NRC	National Research Council
NRT	Near Realtime
NWP	Numerical Weather Prediction
O3M	Ozone Monitoring
OCRA	Optical Cloud Retrieval Algorithm
OL	Offline
OMI	Ozon Monitoring Instrument
OS	Optische Systeme
PDS	Payload Data Segment
PROMOTE	Protocol Monitoring for the GMES Service Element
PSM	Processing System Management
PyReS	Prototype Retrieval System
QA	Quality Assurance
RAL	Rutherford Appleton Laboratory
RMS	Root Mean Square
ROCINN	Retrieval of Cloud Information using Neural Networks

SACURA	Semi-Analytical Cloud Retrieval Algorithm
SADDU	SCIAMACHY Algorithm Development and Data Usage
SAF	Satellite Application Facility
SAMUM	Sahara Mineral Dust Experiment
SAO	Smithsonian Astrophysical Observatory
SARTre	pseudoSpherical Atmospheric Radiative Transfer
SAW	Sonnenazimutwinkel
SCIAMACHY	Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography
SCIATRAN	radiative transfer model for SCIAMACHY
SGFF	Selbstkonsistenter Green-Funktionsformalismus
SNR	Signal-Rauschverhältnis
SOST	SCIAMACHY Operations Support Team
SRON	Netherlands Institute for Space Research
ST	Strahlungstransport
STR	Strahlungstransportrechnungen
S/W	Software
SZW	Sonnenzenitwinkel
TIPA	Tilted Independent Pixel Approximation
TOA	Top of Atmosphere
TRR	Test Results Review
UMARF	Unified Meteorological Archive and Retrieval Facility
UPAS	Universal Processor for Atmospheric Spectrometers
UV	Ultraviolett
VIS	Visible
VL	Virtuelles Labor

