

ENVISAT

Europas Umweltsatellit

ENVISAT

Europe's environmental satellite





| | |
|---|-----------|
| ENVISAT – Deutsche Forschung auf Europas Umweltsatellit. | 4 |
| <i>ENVISAT – Europe's largest Earth observation satellite</i> | |
| Globale Überwachung von Luftschadstoffen | 8 |
| <i>Global monitoring of air pollutants</i> | |
| Der Wasserkreislauf: Ein Kernstück des Wetter- und Klimasystems. | 24 |
| <i>The water cycle: A core element of our weather and climate system</i> | |
| Vegetations- und Landnutzungsinformation aus dem All. | 30 |
| <i>Vegetation and land use information from space</i> | |
| Kleinste Veränderungen der Erdoberfläche | 34 |
| <i>Minute changes of the Earth's surface</i> | |
| Ozeanbeobachtung: Wasserqualität und Monster-Wellen | 36 |
| <i>Observing the oceans: Water quality and monster waves</i> | |
| Die Zukunft: Was kommt nach ENVISAT? | 40 |
| <i>The future: What comes after ENVISAT?</i> | |
| Impressum | 43 |
| <i>Imprint</i> | |

ENVISAT – Europas Umweltsatellit

ENVISAT – Europe's Environmental Satellite

Seit 2002 umkreist der bislang größte europäische Umweltsatellit ENVISAT unsere Erde. Deutsche Wissenschaftler haben maßgeblichen Anteil am Erfolg der ehrgeizigen Mission, an der sich 13 Länder im Rahmen der Europäischen Weltraumorganisation ESA sowie Kanada beteiligen. ENVISAT liefert Daten über den Zustand der Atmosphäre, Landoberfläche, Ozeane und Eisdecken. Damit leistet er erhebliche Entscheidungshilfen für die Umweltpolitik. Zahlreiche Forschungsergebnisse belegen zudem den großen Erfolg der Mission. Mit grundlegenden Beiträgen sind auch deutsche Forscher an der Auswertung der beteiligt.

The largest environmental satellite yet built in Europe, ENVISAT, has been circling around our Earth since 2002. German scientists made a major contribution to the success of this ambitious mission in which 13 member countries of the European space agency ESA participated together with Canada. ENVISAT furnishes data on the current status of the atmosphere, the land surface, the oceans and the ice caps, data that are very helpful in environmental policy decision-making. Numerous research findings document that the mission is a great success. German scientists are also playing a key role in the evaluation of the satellite's data.

ENVISAT – Deutsche Forschung auf Europas Umwelt

ENVISAT – Europe's largest Earth observation

Seit einigen Jahrzehnten zeigt die Beeinträchtigung der Umwelt durch den Menschen weltweit wachsende Ausmaße. Waldschäden, Bodenerosion sowie Gewässer- und Meeresverschmutzung sind unübersehbare Zeichen hierfür. Die Atmosphäre wird zunehmend durch Schadstoffe und Aerosole, Schwebeteilchen in der Luft, belastet. Klimaveränderung, Treibhauseffekt und Anstieg der UV-Strahlung durch Abbau der Ozonschicht sind weitere wichtige Stichworte.

Um das komplexe System unserer Umwelt verstehen zu können, müssen wir ihre Teilsysteme global beobachten: Die Atmosphäre, die polaren Eisregionen, die Ozeane und die Landflächen. Hierfür umrundet ENVISAT unseren Planeten auf einer polaren Umlaufbahn, also von Pol zu Pol. Auf dieser Bahn kann der europäische Umweltsatellit alle Regionen der Erde vollständig untersuchen. Europa leistet mit ENVISAT einen wesentlichen Beitrag zur weltweiten Umweltbeobachtung. Der Satellit stellt Europa die bislang vielfältigsten Erddaten zur Verfügung. Das hilft den Wissenschaftlern, ihre Spitzenposition in der Atmosphären- und Meeresforschung auszubauen. Darüber hinaus unterstützt ENVISAT die Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft mit Informationen über den Zustand unseres Planeten.

Deutschland trägt 21 Prozent der Missionskosten von 2 Milliarden Euro. Die Planung hierfür erfolgte im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Zusätzlich beteiligte sich Deutschland auch direkt durch den Bau des Atmosphären-Sensors SCIAMACHY in deutsch-niederländisch-belgischer Zusammenarbeit. Zahlreiche Universitäten und Forschungseinrichtungen in Deutschland sind mit der Auswertung der Daten beschäftigt. Somit hat Deutschland erheblichen Anteil an der internationalen Aufgabe, unsere Umwelt zu erhalten und zu schützen.

All over the world, human-made environmental damage has been growing more severe over the past decades. Ailing forests, topsoil erosion and the pollution of inland waters and oceans are signs that cannot be overlooked. Our atmosphere is increasingly burdened with pollutants and aerosols, i. e. airborne particles. Further important indicators include changes in our climate, the greenhouse effect and rising UV radiation levels caused by the degradation of the ozone layer.

To understand the complex system that constitutes our environment, we need to observe each subsystem on a global scale: the atmosphere, the polar ice regions, the oceans and the land surfaces. ENVISAT does this by circling around our planet on a polar orbit, traveling from pole to pole. This orbit enables Europe's environmental satellite to carry out a complete investigation of every region of the Earth. Europe's ENVISAT is an essential contribution to global environmental observation. It furnishes Europe with the widest variety of geodata available today. Thus, ENVISAT not only assists our scientists in consolidating their leading position in atmospheric and marine research, it also supports decision-makers in politics and industry by providing information about the state of our planet.

Germany contributes 21 percent towards the total mission cost of two billion Euros. Related plans were drawn up at the German Aerospace Center (DLR). In addition, Germany contributed directly by building the atmosphere sensor SCIAMACHY in cooperation with the Netherlands and Belgium. Numerous universities and research institutes in Germany are engaged in evaluating the data. All in all, Germany's share in the international task of preserving and protecting our environment is considerable.

satellit satellite

ENVISAT > Deutsche Forschung auf Europas Umweltsatellit
ENVISAT > German research on Europe's environmental satellite

Ein Satellit für die Umweltforschung

ENVISAT trägt insgesamt zehn wissenschaftliche Instrumente. Sie beobachten die Erde in verschiedenen Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums, vom Mikrowellen-Bereich über Infrarot, sichtbares Licht bis hin ins Ultraviolett. Die Datenmenge, die sie aufnehmen, würde alle vier Minuten eine CD füllen. Etwa 2000 oft multinationale Forschungsprojekte haben sich mit diesen Daten befasst. Auch wenn die Auswertungen noch lange andauern werden, haben die Forscher mit Hilfe von ENVISAT bereits zahlreiche grundlegende Erkenntnisse gewonnen.

Ziel der ENVISAT-Mission ist es, das Verständnis für globale und regionale Klima- und Umweltveränderungen zu verbessern. ENVISAT widmet sich der Atmosphäre, dem Land und den Ozeanen. Bei der Atmosphäre stehen der Treibhauseffekt und

A satellite for environmental research

ENVISAT carries a total of ten scientific instruments which observe the Earth at various wavelengths of the electromagnetic spectrum ranging from the microwave band via infrared and visible light to ultraviolet. The flood of data recorded by them would fill a CD-ROM every four minutes. These data are being studied in about 2000 research projects, many of them multinational. Although the evaluation process will continue for a long time, scientists have already gathered numerous fundamental insights from ENVISAT's data.

The objective of the ENVISAT mission is to improve our understanding of global and regional changes in the climate and

die Ausdünnung der Ozonschicht im Vordergrund. Bezüglich der Landoberfläche richten die Wissenschaftler ihr Augenmerk auf die Biosphäre und die sich ändernden Ökosysteme. Hinsichtlich der Ozeane sammelt ENVISAT Daten über den Einfluss der Weltmeere auf Klima und Umwelt. ENVISAT gewährleistet auch die Kontinuität der Daten zu den früheren europäischen Erdbeobachtungssatelliten ERS-1 und -2. Auf vielen Gebieten aber liefert ENVISAT deutlich genauere Messwerte. Erst die langjährige Beobachtung von einzelnen Vorgängen und ihren Wechselwirkungen untereinander erweitert unser Verständnis der Umwelt. ENVISAT schafft somit eine bedeutende Voraussetzung auch für den künftigen Umwelt- und Klimaschutz.

High tech made in Germany

An Entwicklung und Bau von ENVISAT waren über 100 Firmen beteiligt, von deutscher Seite maßgeblich die Astrium GmbH in Friedrichshafen. Sie war zusammen mit Astrium Ltd. Hauptauftragnehmer für den gesamten Satelliten. Die wissenschaftliche Leitung der zwei Atmosphären-Sensoren SCIAMACHY und MIPAS liegt bei der Universität Bremen und dem Forschungszentrum Karlsruhe. Einen umfassenden nationalen Beitrag liefert Deutschland auch für das sogenannte Bodensegment mit dem Aufbau und Betrieb des Deutschen Prozessierungs- und Archivierungszentrums (D-PAC) am Deutschen Fernerkundungs-Datenzentrum (DFD) des DLR in Oberpfaffenhofen. Dort werden Daten der Instrumente SCIAMACHY, MIPAS, GOMOS und ASAR verarbeitet und anschließend an die Nutzer verteilt. Zahlreiche Forschungsinstitute arbeiten an der wissenschaftlichen Auswertung und der Schaffung neuer, zum Teil auf spezielle Bedürfnisse zugeschnittener Datenprodukte.

the environment. ENVISAT addresses itself to the atmosphere, the land surface and the oceans. In the atmosphere, it mainly investigates the greenhouse effect and the depletion of the ozone layer. On dry land, scientists are concentrating their attention on the biosphere and on ecosystem changes. From the oceans, ENVISAT gathers data on the influence of the seas on the climate and the environment. Moreover, the data delivered by ENVISAT are continuous with those furnished by the two previous European Earth observation satellites, ERS-1 and -2, although the measurements made by ENVISAT are noticeably more accurate in many ways. It is only by observing individual processes and their interaction for many years that we can improve our understanding of the environment, so that ENVISAT may be said to be paving the way for future environmental and climate protection measures.

High tech made in Germany

More than a hundred companies were involved in the development and construction of ENVISAT, led in Germany by Astrium GmbH in Friedrichshafen which, together with Astrium Ltd., was the prime contractor for the entire satellite. The scientific coordination of the two atmosphere sensors, SCIAMACHY and MIPAS, lay in the hands of Bremen University and the Karlsruhe Research Center. Moreover, Germany made a major national contribution towards the so-called ground segment by creating and operating the German Processing and Archiving Center (D-PAC) at DLR's German Remote Sensing Data Center (DFD) in Oberpfaffenhofen. The Center processes data from the SCIAMACHY, MIPAS, GOMOS and ASAR instruments and distributes them to users. Numerous research institutes are actively engaged in evaluating the data scientifically and converting them into data products, some of which are tailored to specific applications.

Instrumente auf ENVISAT

AATSR

Advanced Along-Track Scanning Radiometer – ein im sichtbaren, nah- und thermisch-infraroten Licht abbildendes, kegelförmig abtastendes Radiometer zur präzisen Messung der Meeresoberflächen-Temperatur und für Landbeobachtungen. Weiterentwicklung des Vorläufers auf ERS.

ASAR

Advanced Synthetic Aperture Radar – ein Radar-Instrument zur Beobachtung der Land-, Meeres- und Eisoberflächen mit verschiedenen Aufnahmemodi; Weiterentwicklung des Vorläufers auf ERS.

DORIS

Doppler Orbitography and Radio-Positioning Integrated by Satellite – ein Messinstrument zur hochgenauen Bahnbestimmung.

GOMOS

Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars – ein in Horiziontrichtung blickendes, im ultravioletten, sichtbaren und nah-infraroten Licht arbeitendes Spektrometer, das die Konzentration des Ozons und anderer Gase mit Hilfe von Sternenspektren erfasst.

LRR

Laser Retro-Reflektor – ein Winkelspiegel zur hochgenauen optischen Bahnvermessung mittels Laser vom Boden aus.

MERIS

Medium-Resolution Imaging Spectrometer – ein abbildendes Weitwinkel-Spektrometer mittlerer geometrischer Auflösung zur Ozean- und Landerkundung im sichtbaren und nah-infraroten Licht.

MIPAS

Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding – ein in Horiziontrichtung blickendes, passives Michelson-Interferometer zum Studium atmosphärischer Spurengase, das im mittleren Infrarot arbeitet.

MWR

Microwave Radiometer – ein passives Mikrowellen-Radiometer zur Bestimmung des Wassergehalts der Atmosphäre und dadurch zur verbesserten Genauigkeit des Altimeters RA-2.

RA-2

Radar Altimeter – ein Höhenmesser auf Radar-Basis, insbesondere zur Bestimmung des Meeresspiegels; Weiterentwicklung des Vorläufers auf ERS.

SCIAMACHY

Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography – ein Spektrometer, das im ultravioletten, sichtbaren und nah-infraroten Licht die Konzentration einer großen Anzahl von Gasen und Spurenstoffen beobachtet. Die Blickrichtung kann sowohl zum Horizont als auch direkt zur Erde gerichtet werden. Weiterentwicklung des Instrumentes GOME auf der ERS-2 Mission.

Instruments on ENVISAT

AATSR

Advanced Along Track Scanning Radiometer – a conical-scan imaging radiometer that operates at the visible, near and thermal infrared wavebands to precisely measure sea surface temperatures and observe the dry land. Developed from its predecessor on ERS.

ASAR

Advanced Synthetic Aperture Radar – a radar instrument which uses several imaging modes to observe land, sea and ice surfaces. Developed from its predecessor on ERS.

DORIS

DORIS: Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite – a measuring instrument which determines the orbit of the satellite with maximum precision.

GOMOS

Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars – a spectrometer which, directed at the horizon, operates in the ultraviolet, visible and near-infrared waveband to measure the concentration of ozone and other gases in the atmosphere with the aid of star spectra.

LRR

Laser Retro Reflector – an optical square that is used for high-precision optical orbit measurements with a ground-based laser.

MERIS

Medium Resolution Imaging Spectrometer – an imaging wide-angle spectrometer of medium geometrical resolution used to observe ocean and land surfaces in the visible and near-infrared spectral range.

MIPAS

Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding – directed at the horizon, this passive Michelson interferometer operates in the mid-infrared waveband to study atmospheric trace gases.

MWR

Microwave Radiometer – a passive microwave radiometer which determines the water content of the atmosphere to improve the precision of the RA-2 altimeter.

RA-2

Radar Altimeter – the device is used specifically to measure the sea level. Developed from its predecessor on ERS.

SCIAMACHY

Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography – a spectrometer which operates in the ultraviolet, visible and near-infrared wavebands, observing the concentration of a large number of trace gases and substances. It may be directed at the horizon as well as directly down to Earth. SCIAMACHY was developed from the GOME instrument on the ERS-2 mission.

Globale Überwachung von Luftschadstoffen

Global monitoring of air pollutants

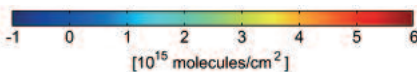
Drei Instrumente auf ENVISAT beobachten die Erdatmosphäre und ihre Zusammensetzung. Zwei von ihnen sind SCIAMACHY und MIPAS, die von deutschen Wissenschaftlern geleitet werden. MIPAS ist spezialisiert darauf, die Zusammensetzung und Temperatur der mittleren und oberen Luftschichten zu untersuchen, um beispielsweise die Prozesse, die zum Ozonloch führen, genauer zu untersuchen. Mit dem Atmosphärenspektrometer SCIAMACHY sind die Umweltforscher erstmals in der Lage, Luftschadstoffe wie Stickstoffdioxid (NO_2), Kohlenmonoxid (CO) oder Schwefeldioxid (SO_2) über Ballungs- und Industriezentren weltweit vergleichbar und mit regionaler Auflösung zu bestimmen.

There are three instruments on ENVISAT which observe the Earth's atmosphere and its composition. Two of these are coordinated by German scientists: SCIAMACHY and MIPAS. MIPAS specializes in analyzing the composition and temperature of the middle and upper layers of the atmosphere so as to throw more light on, for example, the processes that cause the ozone hole. SCIAMACHY, an atmospheric spectrometer, enables environmental researchers for the first time to compare concentrations of air contaminants like nitrogen dioxide (NO_2), carbon monoxide (CO) and sulfur dioxide (SO_2) above conurbations and industrial centers all over the world on a comparable and regional basis.

Globale Verteilung von Stickstoffdioxid (NO_2) in der Troposphäre, Mittelwert zwischen 2002 und 2006. Industrieregionen und Ballungszentren treten als Regionen starker Luftverschmutzung hervor

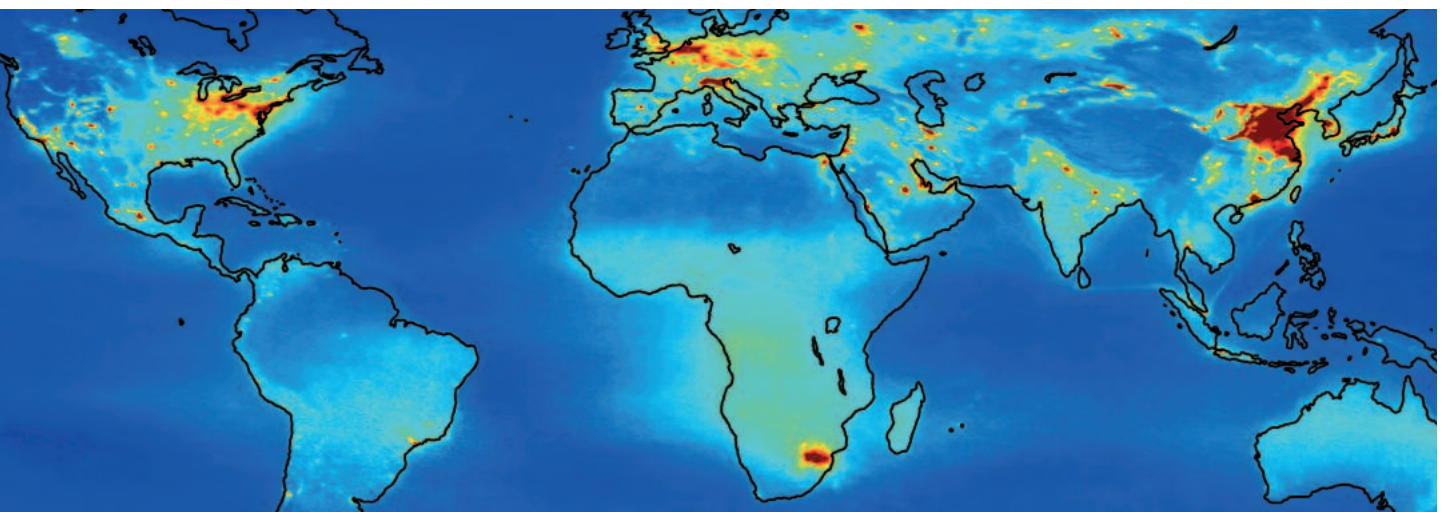
Mean global distribution of nitrogen dioxide (NO_2) in the troposphere between 2002 and 2006. Industrial regions and conurbations stand out as areas of severe air pollution

© St. Beirle, MPI für Chemie, Mainz



Stickstoffdioxid reizt die Atemwege, verursacht Sommersmog und sauren Regen. Seine Hauptquelle sind Verbrennungsvorgänge, zum Beispiel in der Industrie und in Motoren. Neben industriellen Emissionen trägt der Straßenverkehr daher wesentlich zur Stickstoffdioxid-Belastung bei. Stickoxide entstehen auch dort, wo Wälder und Steppen großräumig abgebrannt werden, um Flächen für die Landwirtschaft zu gewinnen. In den Karten, welche die mittlere Stickstoffdioxid-Belastung zeigen,

Nitrogen dioxide irritates the respiratory tract and causes summer smog as well as acid rain. It is mainly produced by combustion processes in, for example, industrial plants and car engines. Consequently, traffic is one of the main causes of nitrogen dioxide contamination next to industrial emissions. Moreover, nitrogen oxides develop wherever large tracts of forest or steppe are burned to clear land for cultivation. Regions that combine high population density with high productivity



stechen Regionen hoher Bevölkerungsdichte in Verbindung mit hoher Produktivität hervor, so etwa die USA, Europa und China. Auch große Städte wie Mexico City, Moskau oder Hongkong sind deutlich zu erkennen. In Europa sieht man neben einzelnen Städten wie beispielsweise Madrid, Paris oder London das industrielle Po-Tal in Norditalien, unterhalb der sauberen Alpen. In Deutschland fallen die Industrieregionen entlang des Rheins, besonders das Ruhrgebiet, auf. Neben diesen, von Industrie und Verkehr erzeugten Emissionen kann man aber auch die Auswirkungen der regelmäßigen Buschfeuer in Afrika erkennen.

such as the USA, Europe, and China figure prominently on all charts showing mean nitrogen dioxide concentrations. Large urban centers like Mexico City, Moscow or Hong Kong are clearly identifiable as well. Areas of high concentration in Europe include a few cities like Madrid, Paris and London as well as the industrial valley of the Po river in northern Italy, while the Alps that rise above it are clean. In Germany, there is no mistaking the industrial regions along the Rhine river, particularly the Ruhr Basin. However, next to industry and traffic-related emissions the effects of Africa's regular bush fires show up as well.

Wie entwickelt sich die Luftqualität?

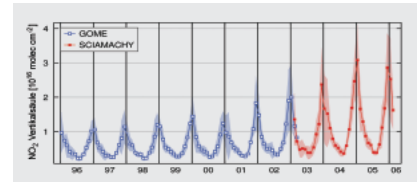
In den letzten Jahren konnten dank des Einsatzes moderner Filtertechniken die Emissionen von Stickoxiden in Europa und Teilen der USA deutlich reduziert werden. In aufstrebenden Industrienationen wie beispielsweise China steigen die Emissionen jedoch weiter an und führen zu Umweltproblemen. Wissenschaftler kombinieren die Daten des Sensors GOME auf ERS-2 und SCIAMACHY auf ENVISAT und können so erste regionale Trends über einen Zeitraum von zehn Jahren bestimmen.

In China etwa zeigt sich das dortige Wirtschaftswachstum in einem mittleren Anstieg des Stickstoffdioxids von jährlich zehn Prozent. Es entspricht damit grob den Wachstumsraten der chinesischen Wirtschaft. Neueste Auswertungen von SCIAMACHY- und GOME-Daten über die Belastungsentwicklung über Europa ergeben hingegen ein komplexeres Bild: Während die Stickoxid-Konzentration über bestimmten Bereichen West- und Zentral-Europas (Deutschland, Frankreich, Großbritannien und Polen) abnehmen, bleiben sie in einigen Ländern Südeuropas konstant oder steigen leicht an. Mit den ENVISAT-Messungen können also erstmals die bestehenden Emissionsdatenbanken unabhängig überprüft werden.

What is happening to air quality?

In recent years, modern filtration technologies helped to effect a marked reduction in the emission of nitrogen oxides in Europe and parts of the USA. In rising industrialized nations such as China, on the other hand, emissions continue to increase, leading to environmental problems. Combining the data provided by the GOME sensor on ERS-2 and by SCIAMACHY on ENVISAT, scientists can now begin to identify regional trends over a ten-year period.

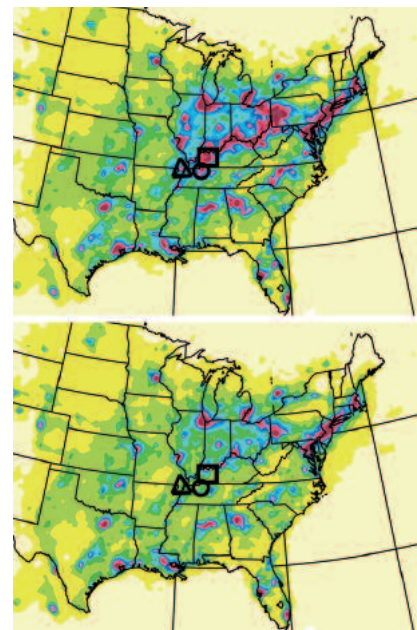
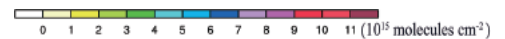
In China, for instance, nitrogen dioxide pollution increases at an annual average rate of ten percent, a figure that reflects and roughly corresponds to the growth of the Chinese economy. In Europe, on the other hand, recent evaluations of SCIAMACHY and GOME data on pollution developments draw a more complex picture: Whereas nitrogen oxide concentrations over certain regions of western and central Europe (Germany, France, Great Britain and Poland) are declining, there are some south European countries where they are constant or even slightly increasing. Thus, ENVISAT's measurements enable the first-ever independent reviews of existing emission databases.



Zunahme von Stickstoffdioxid über China zwischen 1996 und 2006. Die jährliche Schwankung resultiert aus jahreszeitlichen Änderungen im Energieverbrauch

Increase in the nitrogen dioxide concentration over China from 1996 to 2006. Annual fluctuations result from seasonal changes in the consumption of energy

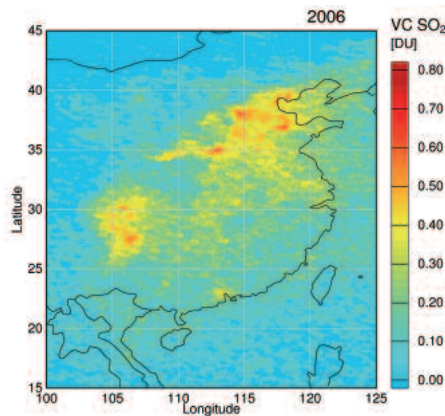
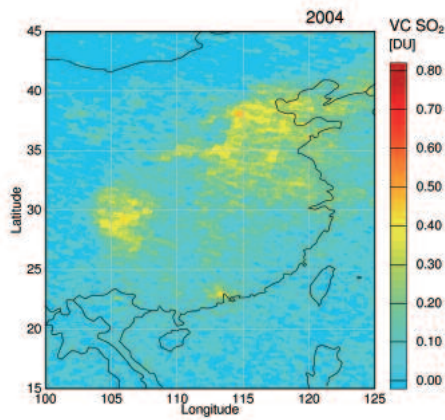
© A. Richter, IUP Uni Bremen



Rückgang von Stickstoffdioxid in den USA zwischen 1999 und 2006 dank verbesserter Abgasreinigung von Kohlekraftwerken. Eingezeichnet sind einige Standorte großer Kohlekraftwerke

Decline in nitrogen dioxide levels in the USA between 1999 and 2006 due to improvements in the exhaust purification of coal-fired power plants. The map shows the location of some major coal-fired power plants

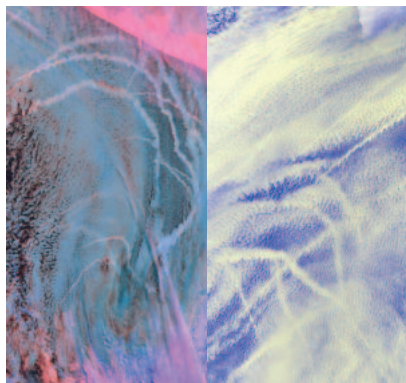
© S.-W. Kim, Copyright American



Verteilung von Schwefeldioxid (SO_2) über China im Jahr 2004 und 2006. Durch die hohe Auflösung von SCIAMACHY können einzelne Industriezentren lokalisiert werden

Distribution of sulphur dioxide (SO_2) over China in 2004 and 2006. SCIAMACHY's high resolution permits distinguishing individual industrial centers

© A. Richter, IUP Universität Bremen



Veränderte Bewölkungseigenschaften durch Schiffsspuren in AATSR-Daten, links: Infrarot-Aufnahme, rechts: Aufnahme im sichtbaren Licht

Changes in cloud properties caused by ship's trails identified from AATSR-data, left: infrared picture, right: visible

© M. Schreier, Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe SeaKLIM und Universität Bremen; Daten: ESA

SCIAMACHY belegt auch, dass sich emissionsmindernde Maßnahmen an Kohlekraftwerken lohnen. Ein deutsch-amerikanisches Wissenschaftsteam konnte einen Rückgang des Luftschadstoffs Stickstoffdioxid um bis zu 35 Prozent nachweisen, nachdem bei drei großen Kraftwerken neue Abgas-Kontrollsysteme installiert worden waren. Keine Verbesserungen fanden die Wissenschaftler in Gebieten der USA, in denen die Luft vor allem durch den Straßenverkehr belastet wird.

Neben Stickstoffdioxid belastet auch Schwefeldioxid die untere Atmosphäre. Das Gas entweicht bei Vulkanausbrüchen, es entsteht aber auch als Abgas bei der Verbrennung von stark schwefelhaltiger Kohle und Erdöl. Der Vergleich der Schwefeldioxid-Konzentration über China zwischen den Jahren 2004 und 2006 zeigt einen deutlichen Anstieg durch Verbrennungsabgase.

Die Spuren des Schiffsverkehrs

Aufgrund seiner hohen Nachweisempfindlichkeit zeigt SCIAMACHY erstmalig die Emissionen von Stickstoffdioxid bestimmter Verkehrsträger. In den NO_2 -Karten sind die Hauptseefahrtswege im Indischen Ozean und im Südchinesischen Meer deutlich als dünne Linien erkennbar. Von den Schiffsmotoren wird neben Stickoxiden auch Schwefeldioxid ausgestoßen. In der Atmosphäre oxidiert dies zu Schwefelsäure, die dann zusammen mit Wasser zur Bildung von schwefelhaltigen kleinen Tröpfchen, sogenannten Aerosolen, führt.

Neben der Verschlechterung der Luftqualität und der Erhöhung der Sonnenstrahlung, die von der Erde reflektiert wird, spielt schwefelhaltiges Aerosol bei der Bildung von Wolken eine entscheidende Rolle: Es stellt Kondensationskerne zur Verfügung, an denen sich Wasserdampf niederschlagen kann. Daher können Schiffsemissionen, die in sonst eher sauberen und entlegenen Regionen stattfin-

Moreover, SCIAMACHY has demonstrated that it pays to reduce the emissions of coal-fired power plants. A team composed of German and American scientists was able to demonstrate that nitrogen dioxide pollution declined by as much as 35 percent after the installation of new exhaust purification systems in three large power plants. No improvements were detected in the air over certain areas of the USA, where pollution is caused mainly by traffic.

Next to nitrogen dioxide, sulfur dioxide contaminates the lower atmosphere. The gas is produced by volcanic eruptions as well as by the combustion of coal and oil with a high sulfur content. A comparison of sulfur dioxide concentrations over China in 2004 and 2006 shows a marked increase due to combustion gases.

Shipping leaves traces

Its great sensitivity enables SCIAMACHY to identify the nitrogen dioxide emissions of certain transportation carriers for the first time. On its NO_2 maps, the main shipping lanes in the Indian Ocean and the South China Sea show up clearly in the form of thin lines. Ships' engines emit not only nitrogen oxides but also sulfur dioxide. In the atmosphere, oxidation generates sulfuric acid which combines with water to form sulfurous droplets called aerosols.

These sulfurous aerosols not only impair the quality of the air and increase the amount of solar radiation that is reflected by the Earth, they also play a crucial part in the formation of clouds: They provide the nuclei for the condensation of water vapor. For this reason, ships' emissions in remote and otherwise rather clean regions may affect the formation of clouds and their characteristic properties. Forming a clearly visible trail, this phenomenon is often identifiable even from satellites, appearing as long-drawn-out structures of clouds lying low above the sea. With

den, die Wolkenbildung und die Eigenschaften der entstandenen Wolken verändern. Dieses Phänomen ist oft als deutliche Schiffsspur auch vom Satelliten aus erkennbar. Die Wolkenformationen zeigen sich als langgestreckte Strukturen von tiefen Wolken über dem Meer. Die Messungen mit dem Instrument AATSR auf ENVISAT helfen den Umweltforschern, die betreffenden Gebiete und das Phänomen der Schiffsspuren genauer zu analysieren und mögliche Auswirkungen auf lokale und globale Klimaverhältnisse zu ergründen.

Dem Klimawandel den Puls fühlen: Beobachtung der Treibhausgase

SCIAMACHY ist weltweit der erste Sensor, der die Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) in der Atmosphäre vom Satelliten aus bis zum Erdboden erfassen kann.

Kohlendioxid ist dasjenige vom Menschen produzierte Treibhausgas, das am stärksten zum weltweiten Klimawandel beiträgt. Die Hauptquelle von CO_2 ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe, also von Öl, Kohle und Gas in Kraftfahrzeugen, in der Industrie oder im Haushalt.

Derzeit werden jedes Jahr durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe weltweit etwa 26 Milliarden Tonnen Kohlendioxid in die Atmosphäre ausgestoßen, mit steigender Tendenz. Davon verbleibt etwa die Hälfte in der Atmosphäre und wirkt sich auf den Klimawandel aus, die andere Hälfte wird von sogenannten natürlichen Senken aufgenommen. Natürliche Senken sind zum Beispiel die Ozeane und die großen Waldgebiete der nördlichen Erdhalbkugel.

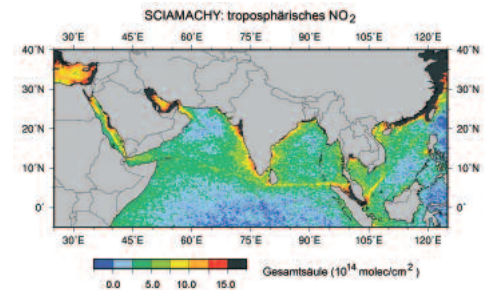
its measurements, the AATSR instrument on ENVISAT assists environmental researchers in analyzing the areas in question, exploring the phenomenon of the ships' trails with greater precision as well as investigating possible effects on the local and global climate.

A finger on the pulse of climate change: Observing greenhouse gases

SCIAMACHY is the first satellite-based sensor worldwide that is capable of determining the atmospheric concentrations of the greenhouse gases carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) right down to the ground.

Among the human-made greenhouse gases, carbon dioxide is the one that contributes most to global climate change. CO_2 is mainly generated by the combustion of fossil fuels, i. e. oil, coal or gas, in motor vehicles, industrial plants and households.

At present, the combustion of fossil fuels causes about 26 billion tons of carbon dioxide being released into the atmosphere every year, and the figure is growing. While about half of that volume remains in the atmosphere where it affects climate change, the other half is absorbed by so-called natural sinks such as the oceans and the large forests of the northern hemisphere.



Schiffahrtswege im Indischen Ozean und Südchinesischen Meer, wie sie in Stickstoffdioxid-Messungen von SCIAMACHY im Zeitraum August 2002 bis April 2004 sichtbar sind
Shipping lanes in the Indian Ocean and the South China Sea revealed by nitrogen dioxide measurements conducted by SCIAMACHY in the period from August 2002 to April 2004

© A. Richter, IUP Uni Bremen



Mit SCIAMACHY-Messungen aus den Jahren 2003 bis 2005 haben Wissenschaftler nachgewiesen, wie die Biosphäre „atmet“. In den Sommermonaten Juli und August nehmen die ausgedehnten Wälder der Nordhemisphäre besonders viel Kohlendioxid auf und entfernen es aus der Atmosphäre, während sie in den Wintermonaten CO₂ abgeben. Unser Wissen bezüglich der Aufnahmefähigkeit von Wäldern und Ozeanen hat jedoch große Lücken. So ist zum Beispiel nicht ausreichend bekannt, wie viel Kohlendioxid an welchen Stellen aufgenommen wird und wie sich die Aufnahmekapazität der natürlichen Senken im Zuge der Klima-Erwärmung ändert. Dieses erschwert zuverlässige Prognosen der Klimaentwicklung und muss weiter erforscht werden.

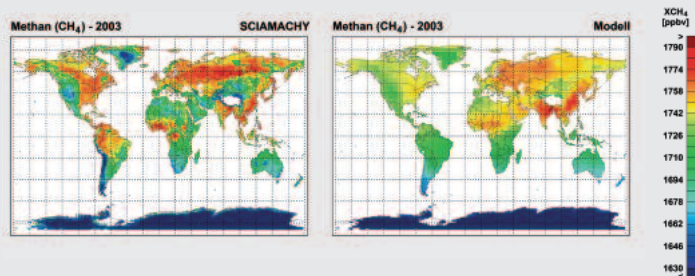
SCIAMACHY zeigt, dass es möglich ist, winzige Veränderungen der CO₂-Konzentration vom Weltraum aus zu messen. Der nachgewiesene, vom Menschen verursachte Anstieg liegt jährlich bei etwa 0,5 Prozent. SCIAMACHYs Daten schaffen zudem die Grundlage für ein besseres Verständnis der dahinterstehenden Vorgänge.

Für eine echte Überraschung sorgten Daten von SCIAMACHY, die eine ungewöhnlich hohe Konzentration von Methan über den tropischen Regenwäldern zeigten. CH₄ ist ein starkes Treibhausgas. Pro Molekül gerechnet übersteigt sein Treibhaus-

SCIAMACHY measurements from the period between 2003 and 2005 enabled scientists to demonstrate how the atmosphere 'breathes'. In the summer months of July and August, the extensive forests of the northern hemisphere step up their absorption of carbon dioxide, thus removing it from the atmosphere. In the winter months, on the other hand, they release CO₂. However, there are wide gaps in our knowledge about the absorption capacities of forests and oceans. Thus, for instance, we do not know enough about how much carbon dioxide is absorbed by specific natural sinks and about how their absorption capacity changes in the course of global warming. This aspect needs to be explored further as it affects the reliability of climate development forecasts.

SCIAMACHY proves that it is indeed possible to measure minute changes in the concentration of CO₂ from space. Caused by man, its level demonstrably increases by about 0.5 percent every year. Moreover, SCIAMACHY's data provide material with which we can improve our understanding of the relevant processes.

It was a genuine surprise when SCIAMACHY transmitted data that showed extraordinarily high concentrations of methane above the tropical rainforests. CH₄ is a gas with a powerful greenhouse potential per molecule which exceeds that of carbon dioxide by a factor of 20. Yet it ranks only third among the most important greenhouse gases after water vapor and carbon dioxide because its concentration in the atmosphere is lower. Most of the methane emissions for which man is responsible are generated by the cultivation of rice and by animal farming. Today, these emissions are regulated by the Kyoto Protocol.



Von SCIAMACHY gemessene globale Methankonzentration (links) und modellierte Werte (rechts) für den Monat September 2002

Global methane concentrations: Model data (left) and SCIAMACHY measurements (right) for the month of September 2002

© M. Buchwitz, IUP, Universität Bremen, Modelldaten: P. Bergamaschi, JRC Ispra

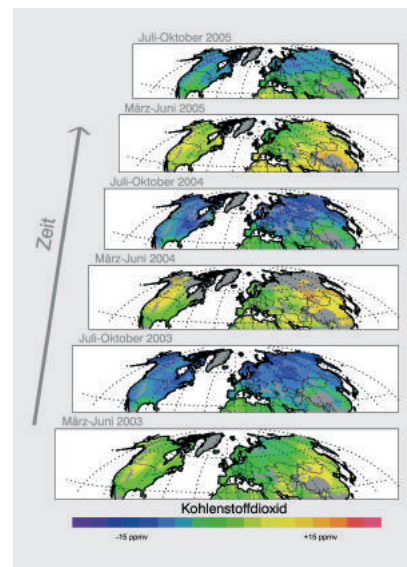
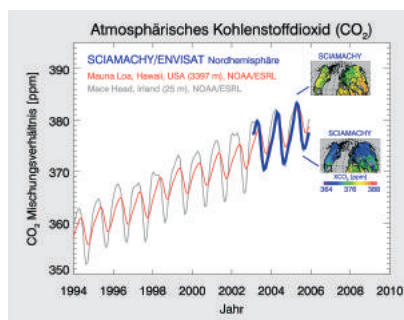
potenzial das von Kohlendioxid um den Faktor 20. Allerdings ist seine Konzentration in der Atmosphäre geringer, deshalb steht Methan in der Liste der wichtigsten Treibhausgase an dritter Stelle hinter Wasserdampf und Kohlendioxid. Die vom Menschen verantworteten Emissionen stammen vor allem aus dem Reisanbau und aus landwirtschaftlicher Viehhaltung. Diese Emissionen werden inzwischen über das Kyoto-Protokoll reguliert.

Das Verstehen der Quellen und Senken von Methan ist insbesondere für den Handel mit Emissions-Zertifikaten wichtig. Die landwirtschaftlichen Quellen hängen stark von den Anbaupflanzen und -methoden ab. Die genaue Menge und ihre räumlichen und zeitlichen Schwankungen sind derzeit aber nur ungenau bekannt. Hinzu kommen die natürlichen Vorgänge, bei denen Methan freigesetzt wird. Über die Mengen, die beispielsweise aus Feuchtgebieten oder auftauenden Permafrostböden stammen, weiß man noch weniger.

Die Daten von SCIAMACHY bieten erstmals die Möglichkeit, Quellen und Senken in der Verteilung von Methan weltweit zur erfassen. Ein Vergleich zwischen Messungen und theoretischen Werten aus einem Computer-Modell zeigt, dass die Theorie vernünftige Vorhersagen über Gebiete mit landwirtschaftlicher Nutzung (Indien, Indochina: Reisanbau, Viehhaltung) macht. Überraschend große Abweichungen lassen sich dagegen in den Tropen erkennen. Im tropischen Regenwald laufen offenbar Vorgänge ab, die im Modell nicht ausreichend berücksichtigt werden. Wissenschaftler diskutieren nun, ob die gegenwärtige Lehrmeinung in der Biologie, nach der lebende Pflanzen kein Methan abgeben, umgeschrieben werden muss.

Understanding the sources and sinks of methane is particularly important in the context of emission certificate trading. The output of agricultural sources greatly depends on local crops and cultivation methods. At present, however, neither actual output volumes nor their geographical and temporal fluctuations are adequately understood. What is more, there are natural processes that release methane, and we know even less about the volumes produced by, for example, wetlands or thawing permafrost soil.

For the first time, SCIAMACHY's data allow us to generate a global inventory of methane sources and sinks. If we compare measurement data with the theoretical values produced by computer models, we find that the theoretical predictions for areas where agriculture is widespread (India, Indochina: rice cultivation, animal farming) are quite reasonable. In the tropics, on the other hand, we encounter surprisingly massive deviations. Apparently, there are processes going on in the tropical rainforest for which the model is not sensitive enough. Meanwhile, biologists are debating whether or not to rewrite the current doctrine according to which living plants do not emit methane.



Kohlendioxid-Messungen über der nördlichen Hemisphäre zeigen den Einfluss des borealen Waldes aufgrund seiner Wachstumsphase

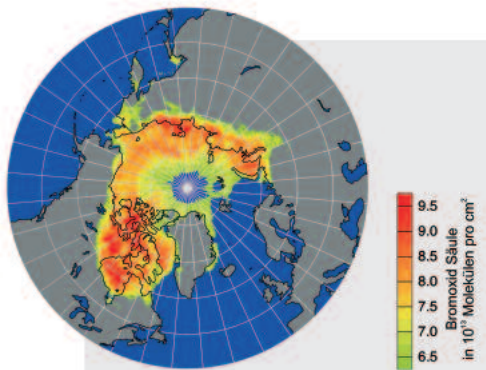
Carbon dioxide measurements above the northern hemisphere show the influence of boreal forests during their growth phase

© M. Buchwitz, IUP Universität Bremen

Anstieg von Kohlendioxid zwischen 2003 und 2005, Vergleich der Daten von SCIAMACHY mit Messungen auf Mauna Loa, Hawaii. Sowohl die jahreszeitliche Variation als auch der jährliche Anstieg werden von SCIAMACHY zuverlässig erfasst

Increase in carbon dioxide between 2003 and 2005, comparison of SCIAMACHY data with measurements at Mauna Loa, Hawaii. SCIAMACHY's record of both seasonal variations and annual increases is dependable

© M. Buchwitz, IUP Universität Bremen, Daten Mauna Loa: NOAA CMDL



Bromoxid über dem arktischen Polarmeer aus SCIAMACHY-Daten des Frühjahrs 2004. Erhöhte Brom-Konzentrationen (rot) sind über den Regionen, in denen neues Meer-eis gebildet wird, zu finden

Bromine oxide concentrations above the Arctic polar sea derived from SCIAMACHY data for the spring of 2004. Increased bromine concentrations (red) are to be found above those regions where fresh sea ice is forming

© DLR



Meereisblumen auf einer überfrorenen Rinne
Sea frost flowers on fresh ice in a channel

© St. Kern, Universität Hamburg

Eisblumen und Bromoxid über dem Polarmeer

Das Hauptaugenmerk der SCIAMACHY-Mission liegt auf der vom Menschen verursachten Veränderung in der untersten Schicht unserer Atmosphäre, der Troposphäre, die über den Polen bis zu acht Kilometer und über dem Äquator bis zu 18 Kilometer hoch reicht. Allerdings zeigt auch die Natur immer wieder überraschende Phänomene.

In polaren Regionen reduziert sich während des arktischen Frühjahrs die Konzentration troposphärischen Ozons durch sogenannte Bromexplosionen. Bromoxid (BrO), das bei der frühjährlichen Erwärmung der Gewässer frei wird, spielt dabei eine ähnliche Rolle wie beim Ozonabbau in der Stratosphäre, der zweiten Schicht unserer Atmosphäre in bis zu 50 Kilometern Höhe. Wie aber die benötigten Mengen Brom aus den polaren Gewässern in die Luft gelangen, gibt den Forschern noch immer Rätsel auf. Immerhin konnte SCIAMACHY die großflächige Verteilung von Bromoxid und ihren Zusammenhang mit der Bildung von Eisblumen auf frischem Meereis nachweisen.

Die nur wenige Zentimeter großen Meereisblumen bestehen aus sehr salzhaltigem und damit stark bromhaltigem Eis. Sie bilden sich innerhalb weniger Stunden, wenn offenes Meerwasser überfriert und die Luft dabei sehr viel kälter ist als das Wasser. Sobald nach der langen Polarnacht die Sonne das salzhaltige Eis bescheint, wird Brom freigesetzt und beginnt mit seiner ozonzerstörenden Wirkung. Dieser mit Hilfe von SCIAMACHY entdeckte Zusammenhang muss künftig von den Wissenschaftlern auch bei der Interpretation von Eisbohrungen berücksichtigt werden, aus denen sie das Klima vergangener Jahrtausende rekonstruieren.

Frost flowers and bromine oxide above the polar sea

The SCIAMACHY mission concentrates on human-made changes in the lowest layer of our atmosphere, the troposphere, which reaches a maximum height of eight kilometers above the poles and 18 kilometers above the equator. Yet, nature does occasionally present us with astounding phenomena.

In the Arctic spring, so-called bromine explosions reduce the concentration of ozone in the troposphere over the polar regions. As the ocean warms up, it releases bromine oxide (BrO) that plays a role in this context, which is not unlike the part it plays in the reduction of ozone in the stratosphere, the second layer of our atmosphere which reaches up to 50 kilometers. However, researchers still puzzle over the process by which the requisite quantities of bromine are actually released into the air from the polar waters. At least, SCIAMACHY was able to demonstrate that bromine oxide is distributed over large areas, and that it is related to the formation of frost flowers on fresh sea ice.

Not exceeding a few centimeters in size, sea frost flowers consist of ice which contains much salt and, consequently, much bromine. They form within a few hours whenever the open sea freezes over and the air is very much colder than the water. As soon as the sun begins to shine after the long polar night, the saline ice releases bromine, which then immediately attacks the ozone. Discovered with the aid of SCIAMACHY, this mechanism will henceforth have to be taken into consideration when scientists interpret ice cores in an attempt to reconstruct the climate of past centuries.

Ozonschicht und Ozonloch

Die Ozonschicht in der Stratosphäre schützt das Leben auf der Erde vor schädlicher ultravioletter Strahlung. Daher hat die Entdeckung sowohl des sogenannten Ozonlochs, das sich regelmäßig zwischen September und Oktober über der Antarktis bildet, als auch der langjährigen Ausdünnung der globalen Ozonschicht Wissenschaft und Politik alarmiert. Erstmals zeigte sich, dass der Mensch durch sein Wirtschaften die Lebensgrundlagen des gesamten Planeten gefährden kann. Verantwortlich für den Ozonabbau sind nämlich die vom Menschen erzeugten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), die jahrzehntelang als Spraydosen-Treibgase und als Kühlmittel in Kühlschränken verwendet wurden.

Der grobe Mechanismus der Ozonzerstörung wird heute von den Wissenschaftlern auch dank ENVISAT gut verstanden: Aufgrund der intensiven Sonneneinstrahlung, die in der Stratosphäre herrscht, spalten sich die FCKW auf, wobei Chlor-Atome entstehen. Diese können in einem Vorgang, aus dem die Chlor-Atome wieder unverändert hervorgehen, Ozon-Moleküle auflösen. Chemiker nennen Chlor deshalb den Katalysator der Ozonzerstörung. Es gibt glücklicherweise aber auch Reaktionen, bei denen das Chlor in inaktivere Verbindungen überführt wird, doch diese sind langsamer.

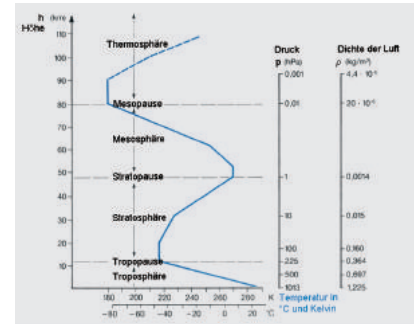
Besonders stark ist der Ozon-Schwund alljährlich ab September im antarktischen Frühling. Dass sich das Ozonloch ausgerechnet dort und zu dieser Jahreszeit bildet, hat die Wissenschaftler anfangs überrascht. Sogenannte polare Stratosphärenwolken spielen dabei eine zentrale Rolle.

The ozone layer and the ozone hole

The ozone layer in the stratosphere protects life on Earth from harmful ultraviolet radiation. This is why scientists and politicians were equally alarmed when it was discovered that a so-called ozone hole forms regularly above the Antarctic between September and October, and that the global ozone layer has been depleted for many years. For the first time, humans became aware that their actions might jeopardize the basis of life on the entire planet. For the degradation of the ozone layer is caused by human-made chlorofluorocarbons (CFCs) which were used for decades as propellants in aerosol dispensers and as coolants in refrigerators.

It is partly to the credit of ENVISAT that we now roughly understand the mechanism by which ozone is destroyed: The intense solar radiation which prevails in the stratosphere breaks down CFC molecules in a process that produces chlorine atoms. These chlorine atoms then break down ozone molecules in another process in which the chlorine itself remains unaffected. This is why chemists call chlorine the catalyst of ozone destruction. Happily, there are other reactions going on as well that transfer chlorine into less active compounds, but these are relatively slow.

Every year from the month of September, ozone depletion peaks in the Antarctic spring. Initially, scientists were surprised that the ozone hole should form there and at this time of year. So-called polar stratospheric clouds play a critical part in the process.



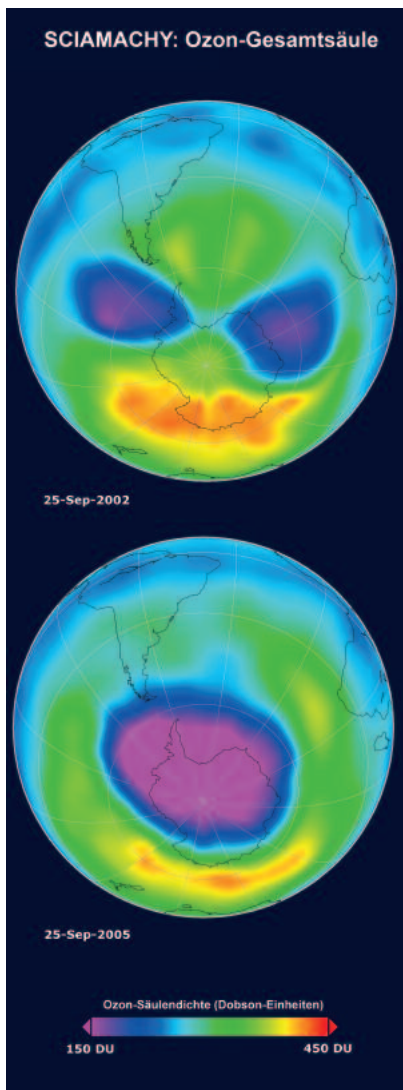
Schichten-Aufbau der Erdatmosphäre
Stratification of the Earth's atmosphere

© US Standard Atmosphere 1976

Polare Stratosphärenwolken über Nord-Schweden

Polar stratospheric clouds over the north of Sweden

© DLR



Das Ozonloch über der Antarktis im September 2002 und 2005
The ozone hole above the Antarctic in the September months of 2002 and 2005

© DLR

Diese Wolken bilden sich während der antarktischen Polarnacht bei Temperaturen von unter minus 80 °C. Sie bestehen nicht nur aus Wasserdampf oder Eiskristallen, sondern auch aus Tröpfchen verdünnter Schwefel- und Salpetersäure. An deren Oberfläche werden inaktivere Chlorverbindungen während der Polarnacht langsam in aktivere Verbindungen umgewandelt, die im Frühjahr durch das Sonnenlicht wieder Chlor-Atome freigeben.

Wegen der tieferen Temperaturen über der Antarktis ist das Ozonloch dort größer als über dem Nordpol. Über der Arktis wird die Luftströmung um den Pol stärker durch Landmassen wie Grönland und Nordskandinavien gestört. Es kann sich mehr warme Luft aus niederen Breiten einmischen.

Überwachung der Ozonschicht

Die Überwachung der Ozonschicht durch satelliten-getragene Atmosphäreninstrumente ist besonders wichtig für die Forscher, die damit vor allem verbliebene Wissenslücken schließen wollen. Auf ENVISAT dienen dazu vor allem die Instrumente SCIAMACHY und MIPAS, welche die Atmosphäre in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen beobachten und sich so ergänzen.

SCIAMACHY beobachtete beispielsweise im Jahr 2002 eine anormale stratosphärische Erwärmung, die zu einem Aufspalten des Ozonlochs führte. Im Vergleich zu normalen Jahren war die Ausdehnung des Ozonlochs im September 2002 danach um 40 Prozent kleiner. Eine allgemeine Entwarnung bedeutete dies jedoch nicht: Die Erwärmung des Polarwirbels trat in den Folgejahren nicht mehr auf, und das Ozonloch erreichte wieder seine übliche Ausdehnung. Mit einer vollständigen Erholung rechnen die Wissenschaftler erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts. Die Vorhersagen sind aber aufgrund der komplexen Vorgänge und

These clouds form during the Antarctic polar night at temperatures below minus 80 °C. They consist not only of water vapor or ice crystals but also of droplets of diluted sulfuric and nitric acid. During the polar night, less active chlorine compounds at their surface are converted slowly into more active substances that release chlorine atoms under the influence of the spring sunlight.

As temperatures are lower above the Antarctic, the ozone hole there is larger than above the north pole. Above the Arctic, prominent land masses like those of Greenland and northern Scandinavia interfere with the flow of air around the pole, allowing more warm air from the lower latitudes to intermingle with it.

Monitoring the ozone layer

Monitoring the ozone layer with the aid of satellite-based atmospheric instruments is especially important for researchers whose primary aim is to close any remaining gaps in their knowledge. On ENVISAT, the most important instruments serving this purpose are SCIAMACHY and MIPAS which complement each other because they observe the atmosphere at different wavelengths.

In 2002, for example, SCIAMACHY observed that the stratosphere was warming up to an abnormal extent, causing the ozone hole to split in two. After that, in September 2002, the ozone hole was 40 percent smaller compared to its spread in normal years. However, the event did not mark a general return to normal, for in the following years the polar vortex did not warm up again, and the ozone hole spread as wide as usual. Scientists do not expect a complete recovery before the second half of this century. However, forecasts remain difficult because of the complexity of the processes involved, and

Einflüsse des Klimawandels auf die Temperaturen in der Ozonschicht noch immer schwierig, was eine weitere genaue Beobachtung erfordert.

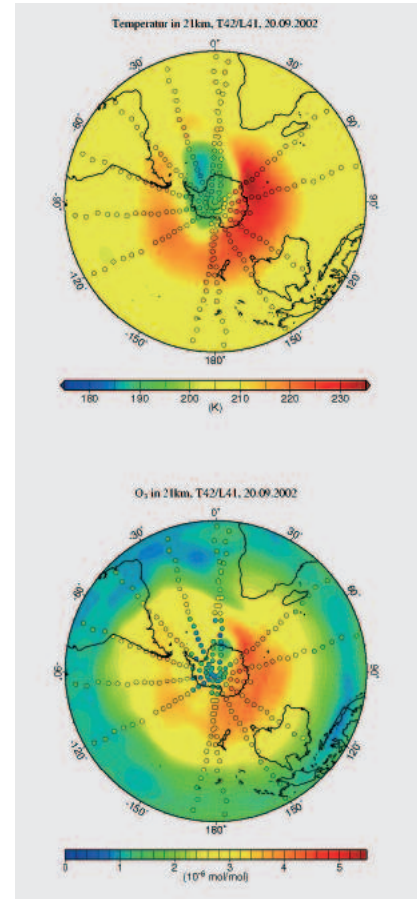
Mit MIPAS auf ENVISAT ist es erstmals gelungen, die Entwicklung und die chemische Zusammensetzung von polaren Stratosphärenwolken zeitlich und räumlich kontinuierlich zu erfassen – sogar während der Polarnacht. Die besondere Fähigkeit, auch ohne Sonnenlicht messen zu können, beruht darauf, dass MIPAS nicht nur die von der Atmosphäre reflektierte Sonnenstrahlung registrieren kann, sondern auch die sehr schwache von den Spurenstoffen selbst ausgesandte Strahlung.

Bei der Untersuchung der Polaren Stratosphärenwolken im antarktischen Winter 2003 ergab sich ein überraschendes Bild: Die Wolken wiesen zunächst nur flüssige Wolkenteilchen auf, bis sich auf einmal auch feste Teilchen aus Salpetersäuretrihydrat-Kristallen bildeten. Das plötzliche Entstehen der Kristalle erklären sich die Atmosphärenforscher mit einer besonderen Wettersituation: Durch starke Winde in Bodennähe werden beim Überströmen der Gebirgsrücken Wellen in der Atmosphäre ausgelöst, die sich nach oben ausbreiten. Modellrechnungen zeigen, dass es in diesen Wellen in der unteren Stratosphäre um bis zu 15°C kälter werden kann. Erst bei derart tiefen Temperaturen entstand auf der Oberfläche der eisigen Wolkenteilchen Salpetersäuretrihydrat. Bei Verlassen des Wellengebiets verdampfte das Eis, und die Salpetersäuretrihydrat-Kristalle blieben übrig. Die Entdeckung weist auf eine wesentlich größere Bedeutung der Wellen hin, als bisher angenommen wurde.

because climate change affects temperatures in the ozone layer, so that further close observation is called for.

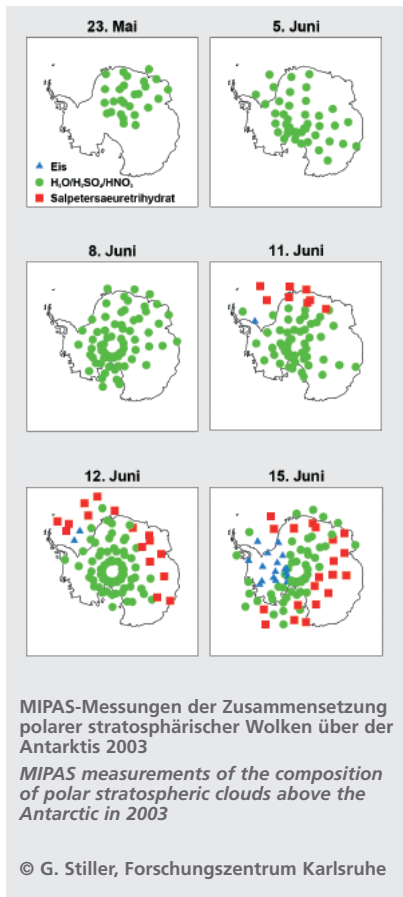
MIPAS on ENVISAT helped to generate the first-ever continuous record of the development and the chemical composition of polar stratospheric clouds over space and time, even during the polar night. This unusual ability to conduct measurements in the absence of sunlight results from the fact that MIPAS is equipped to register not only the solar radiation reflected by the atmosphere but also the extremely weak radiation emitted by the trace substances themselves.

Studies of the polar stratospheric clouds during the Antarctic winter of 2002 revealed an amazing picture: The clouds initially consisted exclusively of liquid particles until solid particles formed very suddenly which were composed of nitric acid trihydrate crystals. Atmospheric researchers believe that this sudden development of crystals results from unusual weather conditions: When high winds close to the ground flow across mountain ridges, they generate waves in the atmosphere that spread upwards. Model computations show that these waves may cause temperatures in the lower stratosphere to drop by as much as 15°C. Only temperatures as low as this will cause nitric acid trihydrate to form on the surface of icy cloud particles. When the cloud passes out of the wave zone, the ice evaporates, leaving the nitric acid hydrate crystals behind. This discovery indicates that the influence of such waves might be much greater than hitherto assumed.



Temperatur (oben) sowie Ozonverteilung (unten) in 21 Kilometer Höhe über dem Südpol. Die MIPAS-Messungen (farbige Kreise) sind mit den Modellergebnissen (Hintergrundfarbe) verglichen. Farbliche Übereinstimmung belegt eine gute Übereinstimmung von Modell- und Beobachtungsdaten
Temperature (top) and ozone distribution (bottom) at an altitude of 21 kilometers above the south pole. The diagram compares MIPAS measurements (colored circles) with model results (background colors). Identical colors indicate good convergence between model and observation data

© DLR



Überprüfung von Computer-Modellen der Atmosphäre

Computermodelle der Erdatmosphäre simulieren die komplexen dynamischen, chemischen und physikalischen Vorgänge, die sich hier gegenseitig beeinflussen. Solche Computermodelle bilden die Grundlage für wissenschaftliche Prognosen über die Entwicklung des Klimas und der Ozonschicht. Wie belastbar solche Prognosen sind, hängt davon ab, wie korrekt die eingesetzten Modelle die Vorgänge der Atmosphäre abbilden. Die Forscher überprüfen sie durch Vergleiche mit Messdaten. Ein mit historischen Klimadaten gefüttertes Modell muss zum Beispiel zeigen, dass es die weiteren Entwicklungen bis in die Gegenwart richtig wiedergibt. Vor allem Daten von Satelliten-Instrumenten sind hier nützlich. Sie haben den Vorteil, dass sie global einheitliche Informationen über längere Zeiträume liefern.

Messungen der ENVISAT-Instrumente MIPAS und SCIAMACHY haben in den letzten Jahren eine Fülle von Detailinformationen sowohl über die chemische Zusammensetzung der Erdatmosphäre als auch über ihre zeitliche Veränderung geliefert. Diese Daten eignen sich in idealer Weise für Vergleiche mit Computer-Modellen. Selbst bei einem der modernsten Modelle, dem „ECHAM5/MESSy“, zeigten Vergleiche von Temperatur- und Ozondaten, dass zwar die Temperaturen in sehr

Validating computer models of the atmosphere

Computer models simulate the complex and dynamic chemical and physical processes that influence each other in the Earth's atmosphere. These computer models furnish the background against which scientists predict the development of the climate and the ozone layer. The robustness of such forecasts depends on the accuracy with which a given model maps the processes in the atmosphere. Researchers validate these models by checking their results against measurement data. Thus, a model that has been fed with historic climate data must demonstrate its ability to correctly forecast climate developments to the present day. Satellite instrument data are especially useful in this context because they deliver globally standardized long-range information.

In the course of the last few years, the MIPAS and SCIAMACHY instruments on ENVISAT have given us a wealth of detailed information on the chemical composition of the Earth's atmosphere and its change over time. These data are ideally suited for matching against computer models. When the temperature and ozone forecasts generated by a leading-edge model, ECHAM5/MESSy, were compared with ENVISAT data, it was found that, although temperature predictions and observations agreed very well, the model's

guter Übereinstimmung mit den Beobachtungsdaten standen, das Modell bei der Ozonverteilung über dem Südpol aber etwa doppelt so viel Ozon vorhersagte, als mit ENVISAT gemessen wurde. Als Grund hierfür fanden die Wissenschaftler bei der anschließenden Überprüfung ihres Modells heraus, dass sie die Konzentration der aktiven Chlorverbindungen, die direkt für die Ozonzerstörung verantwortlich sind, zu niedrig berechnet hatten – ein entscheidender Hinweis zur Verbesserung ihres Modells.

Einzug von Stickoxiden aus der Mesosphäre in die Stratosphäre

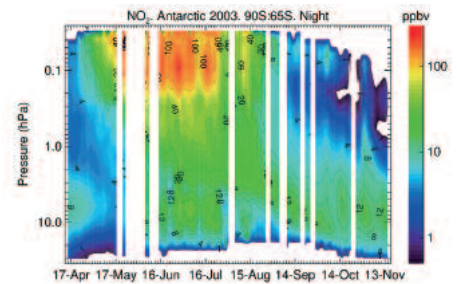
Die Stickoxide NO und NO_2 (in der Summe NO_x genannt) sind neben Chlor die wichtigsten Spurengase, die bei der Zerstörung des stratosphärischen Ozons eine Rolle spielen. In den Computermodellen, mit denen die Ozonzerstörung nachvollzogen und Vorhersagen der Entwicklung des Ozonlochs gemacht werden, wurden jedoch meist zu niedrige Konzentrationen der Stickoxide berechnet. Es schien so, als ob eine wichtige Quelle dieser Spurengase in den Modellen fehlte.

Messungen von MIPAS lieferten die Lösung des Rätsels. Als erstes Instrument weltweit misst es die Zusammensetzung der Atmosphäre auch während der Polarnacht. Diese Daten ergaben, dass in viel

forecast for the distribution of ozone over the south pole predicted an ozone level almost twice as high as that measured by ENVISAT: When scientists reviewed their model to discover the reason for this, they found that the assumed concentration of the active chlorine compounds that are directly responsible for the destruction of ozone had been too low – a crucial hint for improving their model.

Migration of nitrogen oxides from the mesosphere to the stratosphere

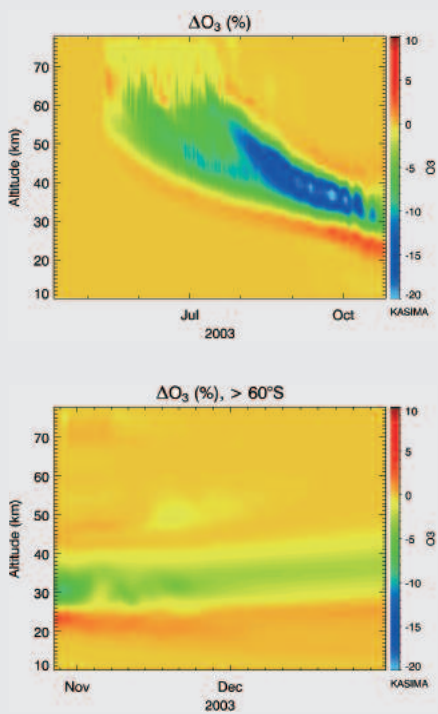
Next to chlorine, nitrogen monoxide and dioxide (NO and NO_2 , collectively called NO_x) are among the most important trace gases that play a part in the destruction of ozone in the stratosphere. However, most of the computer models that are supposed to track the destruction of ozone and predict the development of the ozone hole produced nitrogen oxide concentrations that were too low. It appeared as if one important source of these trace gases had not been incorporated in the models.



Mit MIPAS gemessene zeitliche Entwicklung der vertikalen Stickstoffdioxid-Verteilung im antarktischen Winter 2003

Histogram of the vertical distribution of nitrogen dioxide in the Antarctic winter of 2003 based on MIPAS measurements

© G. Stiller, Forschungszentrum Karlsruhe



Die simulierte Änderung der Ozonverteilung durch erhöhten Stickoxid-Eintrag aus der oberen Atmosphäre

Simulated ozone distribution changes caused by the increased influx of nitrogen oxide from the upper atmosphere

© M. Weber, IUP Universität Bremen

größerem Maße als bisher angenommen Luft aus der Mesosphäre, der dritten Atmosphärenschicht in über 50 Kilometern Höhe, und sogar aus der Thermosphäre, der vierten Schicht oberhalb von etwa 80 Kilometern Höhe, in die Stratosphäre absinkt, und dass diese Luft große Mengen an Stickoxiden mit sich trägt.

Der Nachweis gelang mit einem Trick. MIPAS beobachtet eine Vielzahl von Gasen, darunter Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH₄), die beide in der Stratosphäre chemisch relativ stabil sind. Der Anteil von Kohlenmonoxid nimmt mit der Höhe zu. Das liegt daran, dass dieses Gas hoch oben in der Mesosphäre aus Kohlendioxid (CO₂) gebildet wird. Der Anteil an Methan dagegen nimmt mit der Höhe ab, da das Gas am Erdboden entsteht. MIPAS hat nun beobachtet, dass in weiten Bereichen der polaren Stratosphäre gleichzeitig der Kohlenmonoxid-Anteil zunahm, während der Methan-Anteil abnahm. Das konnte nur daran liegen, dass die Luft aus größeren Höhen abgesunken war. Ausgerechnet in den Bereichen mit extrem kohlenmonoxidreicher und methanarmer Luft fand MIPAS in der Stratosphäre die Konzentrationen der Stickoxide stark erhöht.

Damit konnten die Wissenschaftler nachweisen, dass es, im Gegensatz zu bisherigen Vorstellungen, in der Polarnacht zu einem starken Abwärtstransport der Luft kommen kann, und dass Stickoxide, die hoch oben in der Thermosphäre gebildet werden, unbeschadet in die Stratosphäre gelangen. Jetzt, wo sie die Stickoxide aus der oberen Atmosphäre und das Absinken der Luft in ihre Modellrechnungen einbezogen haben, sagen die Modelle wesentlich stärkere Ozonverluste während des Polarwinters und -frühlings voraus. In drei von vier mit MIPAS beobachteten Wintern kam es tatsächlich zu unerwartet starken Abwärts-Luftbewegungen und damit zu extremen Erhöhungen der Stickoxid-Konzentration. In diesen fand, wie Modellrechnungen zeigten, eine um bis zu 20 Prozent verstärkte Ozonzerstörung statt.

The solution to the riddle was furnished by MIPAS, the first instrument worldwide that is equipped to measure the composition of the atmosphere during the polar night. Its data showed that much more air than had hitherto been assumed filters down into the stratosphere from the mesosphere, the third atmospheric layer at an altitude of more than 50 kilometers, and even from the thermosphere, the fourth layer that begins at about 80 kilometers. Furthermore, they showed that this air carries large amounts of nitrogen oxide with it.

A trick had to be employed for the demonstration to succeed. MIPAS observes a multitude of gases including carbon monoxide (CO) and methane (CH₄) whose chemistry is relatively stable in the stratosphere. Carbon monoxide concentrations increase with the altitude because this gas is formed from carbon dioxide (CO₂) high up in the mesosphere. Conversely, methane contents decline at higher altitudes because the gas is generated on the ground. Now, MIPAS observed that in large sections of the polar stratosphere the proportion of carbon monoxide increased while the methane content declined. This could only be caused by air sinking down from higher altitudes. MIPAS found that it was precisely in areas that were extremely rich in carbon monoxide and poor in methane that the stratosphere contained particularly high concentrations of nitrogen oxides.

This has enabled scientists to demonstrate that, contrary to conventional wisdom, powerful vertical downdrafts may occur during the polar night, and that nitrogen oxides that are formed high up in the thermosphere may reach the stratosphere undamaged. With nitrogen oxides from the upper atmosphere and descending air flows now included, mathematical models predict much greater losses of ozone during the polar winter and spring. In three out of four winter seasons, MIPAS did observe unexpectedly strong downward air currents which led to extremely high nitrogen oxide concentrations.

Die Voraussetzung für den massiven Einzug von Stickoxiden aus der oberen Atmosphäre ist die Ausbildung eines stabilen und vor allem starken Luftwirbels um den Pol herum, wie er im Winter am Südpol immer öfter beobachtet wird. Die Stabilität und Stärke des Polarwirbels hängt somit auch von der Entwicklung des Weltklimas ab. Dieser neue Zusammenhang zwischen dem Klimawandel und dem Ozonloch, den MIPAS nun aufgedeckt hat, muss im Detail jedoch erst noch erforscht werden.

Der Einfluss der Sonne auf die Erdatmosphäre

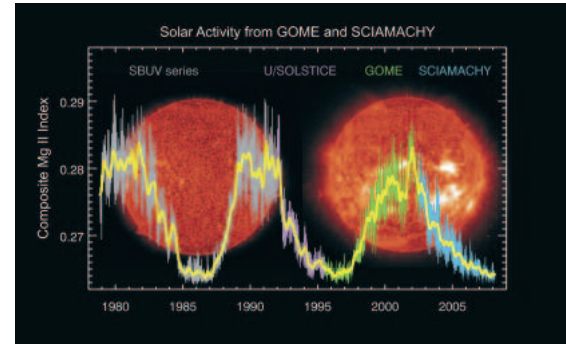
Die Sonne ist die einzige Energiequelle, die das System Erde von außen antreibt. Um klären zu können, welchen Einfluss die Sonne auf die Zusammensetzung der Erdatmosphäre hat, ist es notwendig, dass die Sonneneinstrahlung exakt bekannt ist. SCIAMACHY ist eines von wenigen Geräten, welches das einfallende Sonnenlicht in einem breiten Wellenlängenbereich sehr genau vermisst. Aus diesen Daten lässt sich etwa der sogenannte Mg-Index ableiten, der ein Maß für die Strahlungsaktivität der Sonne im ultravioletten Teil des Licht-Spektrums ist. Dadurch können zum einen die Schwankungen der Sonnenaktivität während ihres gut elfjährigen Zyklus überwacht werden. Zum anderen stößt die Sonne während starker Sonnenstürme neben der elektromagnetischen Strahlung auch Teilchen wie energiereiche Protonen aus. Diese Ereignisse nennen Astrophysiker „Solar Proton Events“. Wenn diese Teilchen in die Erdatmosphäre eindringen,

As mathematical models show, the destruction of ozone in these areas was up by as much as 20 percent.

Such a massive emission of nitrogen oxides from the upper atmosphere will happen only if a stable and, more importantly, powerful air vortex forms around the pole, a phenomenon that is observed more and more frequently in the south polar winter. Consequently, the stability and strength of such a polar vortex also depends on the development of the global climate. However, the interaction between climate change and the ozone hole that has been discovered by MIPAS needs to be investigated in more detail.

The influence of the sun on the Earth's atmosphere

The sun is the only outside source of energy that powers the Earth's system. To understand the sun's influence on the composition of the atmosphere we need accurate information about solar irradiation. SCIAMACHY is one of the few instruments that delivers high-precision measurements of solar irradiation across a broad wave spectrum. It is from these data that the so-called Mg index can be derived, a standard for measuring the sun's radiation activity in the ultraviolet range of the spectrum. For one thing, the Mg index is used to monitor fluctuations in the activity of the sun during its cycle, which lasts somewhat more than eleven years. During solar storms, moreover,



Aktivität der Sonne, wie sie über den Mg-Index dargestellt wird. Klar erkennbar ist der elfjährige Sonnenzyklus

Solar activity expressed by the Mg index. The eleven-year solar cycle stands out clearly

© G. Stiller, Forschungszentrum Karlsruhe

Bild der sehr aktiven Sonne am 28. Oktober 2003, aufgenommen mit dem Extreme ultraviolet Imaging Telescope EIT der europäisch-amerikanischen Raumsonde SOHO

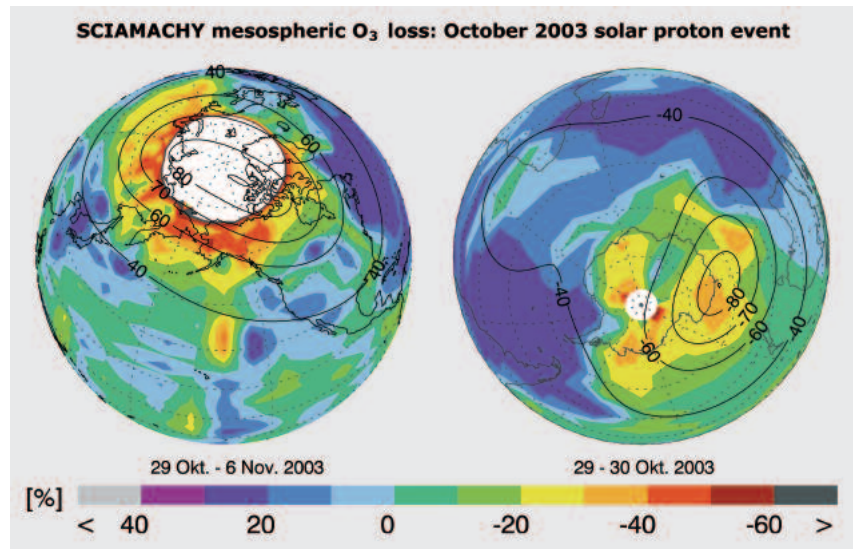
Image showing violent solar activity taken on October 28, 2003 by the Extreme Ultraviolet Imaging Telescope (EIT) on the European-American space probe SOHO

© ESA/NASA

Änderung der Ozonkonzentrationen durch den Niederschlag solarer Protonen, gemittelt über dem Zeitraum 28. Oktober 2003 bis 5. November 2003. Die schwarzen Linien beschreiben die Nähe zum magnetischen Nordpol

Variations in ozone concentration caused by the impact of solar protons; mean values computed for the period from October 28, 2003 to November 5, 2003. Black lines mark the vicinity of the magnetic north pole

© G. Rohen, IUP Universität Bremen



verändern sie deren chemische Zusammensetzung. So konnte SCIAMACHY etwa während des starken Sonnensturms im Oktober und November 2003 nachweisen, dass der Ozongehalt in der oberen Atmosphäre stark abnahm. Besonders hoch ist der Einfluss dabei in der Nähe der magnetischen Pole, da die Teilchen hier besonders tief in die Atmosphäre eindringen können. Solche Ausnahme-Ereignisse bieten wertvolle Daten, mit denen die Modelle, und damit die gängigen Theorien solcher Vorgänge, überprüft und verbessert werden können.

the sun emits not only electromagnetic radiation but also particles such as energy-rich protons. Astrophysicists call these eruptions 'solar proton events'. When these particles enter the Earth's atmosphere they change their chemical composition. During the powerful solar storm of October and November 2003, for example, SCIAMACHY registered a steep decline in the ozone content of the upper atmosphere. This effect was most marked in the vicinity of the magnetic poles where particles can penetrate relatively deeply into the atmosphere. The data furnished by such exceptional events are valuable because they may be used to validate and improve the mathematical models and, by extension, the theories explaining such events.

UV-Einstrahlung an der Erdoberfläche

Da die atmosphärischen Spurengase die Eigenschaften der auf die Erde einfallenden Sonnenemission stark verändern, kann man aus den errechneten Spurengaskonzentrationen Rückschlüsse auf die an der Oberfläche ankommende Strahlung ziehen. Vor allem gilt dies für den durch Ozon stark reduzierten UV-Anteil. Der Abbau des stratosphärischen Ozons lässt die Menge der bis zur Oberfläche durchdringenden UV-Photonen ansteigen. Erhöhte Dosen von UV-B wirken sich schädlich auf die Biosphäre aus.

Zur Abschätzung der UV-Gefährdung wird daher regelmäßig aus SCIAMACHY-Ozondaten und weiteren Informationen etwa über die Bewölkung, Oberflächenbeschaffenheit oder den Sonnenstand die sogenannte Sonnenbrandzeit ermittelt. Sie verdeutlicht, wie lange sich eine Person bestimmten Hauttyps im Freien aufhalten kann, ohne Sonnenbrandsymptome zu entwickeln. Das DLR bietet hierzu einen kostenlosen UV-Check-Dienst an, der über die individuellen Eigenschutzzeiten für verschiedene Hauttypen informiert. Die Sonnenbrand- oder UV-Eigenschutzzeit bezeichnet dabei die Zeit bis zur ersten Rötung ungeschützter menschlicher Haut mittlerer Pigmentierung. Diese Information kann für jeden beliebigen Ort Europas per Internet oder SMS abgefragt werden.

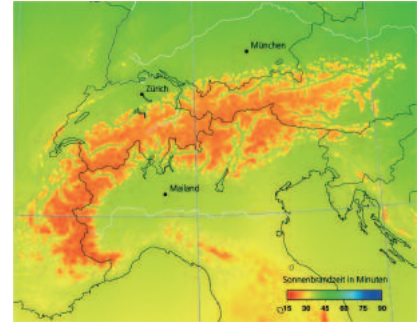
(Siehe www.uvcheck.de)

UV irradiation on the Earth's surface

As the properties of solar emissions impinging on the Earth are modified greatly by atmospheric trace gases, the amount of radiation that actually arrives at the surface may be estimated from computed trace gas concentrations. This is particularly important for the UV fraction, which is much attenuated by ozone. The depletion of the ozone layer in the stratosphere permits more UV photons to reach the surface. Increased UV doses are harmful for the biosphere.

To assess the UV hazard, SCIAMACHY ozone data are regularly used together with information about cloud density, surface conditions and the position of the sun to determine the so-called sunburn time. This is the length of time a person of a particular skin type may stay in the open without developing sunburn symptoms. In this context, DLR offers a free UV check service which informs users about self-protection times for different skin types. The term sunburn or UV self-protection time describes the time which elapses before the first signs of reddening appear in unprotected human skin of medium pigmentation. This information is available either on the Internet or as a text message for any location in Europe.

(See www.uvcheck.com)

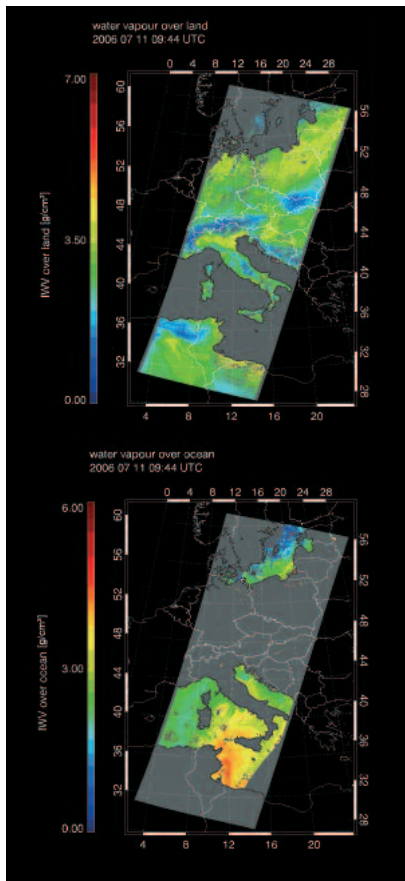


Sonnenbrandzeit über dem Alpenraum zur Winterzeit. Aufgrund der Höhenlage erfährt man in den Alpen bereits nach kurzer Zeit Hautrötungen

Sunburn times in the Alpine region in winter. Because of the altitude, skin reddening appears very quickly in the Alps

© DLR

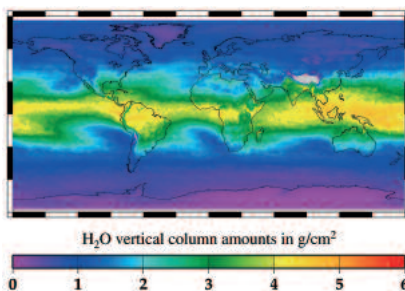
Der Wasserkreislauf: Ein Kernstück des Wetter- und *The water cycle: A core element of our wea*



Wasserdampfsäule über Land und See aus MERIS-Daten

Water vapor column over land and sea computed from MERIS data

© J. Fischer, FU Berlin



Wasser ist elementar für unser Klima. Wasserdampf reflektiert einen großen Teil der von der Erdoberfläche abgestrahlten terrestrischen Wärme und ist damit das wichtigste Treibhausgas. Es sorgt für über die Hälfte des natürlichen Treibhauseffekts, ohne den die Erde menschenfeindlich kalt wäre. Allerdings kann die vom Menschen verursachte Klima-Erwärmung den Wasserdampf-Gehalt beeinflussen: Wärmere Luft nimmt mehr Wasserdampf auf, der wiederum die Klima-Erwärmung verstärkt. Außerdem ist Wasserdampf sowohl für die Wolkenbildung als auch für den Niederschlag verantwortlich.

ENVISAT bietet verschiedene Möglichkeiten, den Wasserkreislauf zu beobachten:

SCIAMACHY liefert globale Karten der Wasserdampf-Verteilung und führt so die Messungen des Vorgängerinstrumentes GOME auf ERS-2 fort. Aus der konsistenten Datenreihe seit 1995 können Forscher langfristige Entwicklungen ermitteln: So fanden Wissenschaftler der Universität Bremen heraus, dass der Gesamtwasserdampfgehalt der Atmosphäre zwischen 1996 und 2006 tatsächlich um etwa 2 Prozent gestiegen ist.

Auch mit MERIS, das eine höhere räumliche Auflösung besitzt, kann prinzipiell der Wasserdampfgehalt bestimmt werden. Forscher der FU Berlin entwickeln spezielle Verfahren, um den Wasserdampfgehalt über Land- und Wasserflächen sowie oberhalb der Wolken zu ermitteln. Die Beobachtungen werden derzeit für Zeitreihenanalysen benutzt und sollen dazu beitragen, zeitliche und räumliche Veränderungen zu erfassen.

Jahresmittelwert 2006 der vertikalen Wasserdampfsäule, bestimmt aus SCIAMACHY-Messungen

Annual mean value of the vertical water vapor column in 2006 computed from SCIAMACHY measurements

© S. Mieruch, IUP Universität Bremen

Water is of elementary importance for our climate. As water vapor reflects a large part of the heat radiated by the Earth's surface, it is the most important greenhouse gas. It accounts for more than half the natural greenhouse effect without which the Earth would be so cold as to be hostile to human life. Of course, the human-made warming of the climate may affect the water vapor content of the air which, if it is warmer, will absorb more water vapor, thus boosting global warming even more. In addition, water vapor is responsible for the formation of clouds as well as for precipitation.

ENVISAT offers a variety of options to observe the water cycle:

Continuing the measurements of its predecessor, the GOME instrument on ERS-2, SCIAMACHY delivers global maps showing the distribution of water vapor. This consistent series of data that reaches back to 1995 enables researchers to identify long-range developments. Thus, scientists at Bremen University discovered that the overall water vapor content of the atmosphere actually rose by about two percent between 1996 and 2006.

Basically, MERIS with its higher spatial resolution may also be used to measure the concentration of water vapor. Dedicated methods for determining water vapor concentrations above land and water surfaces as well as above the clouds are at the moment being developed by researchers at Berlin Free University. Currently, MERIS observations are being used in time series analyses where they are expected to help in the mapping of temporal and spatial changes.

Klimasystems ther and climate system

Die großen Unbekannten im Klimasystem: Wolken

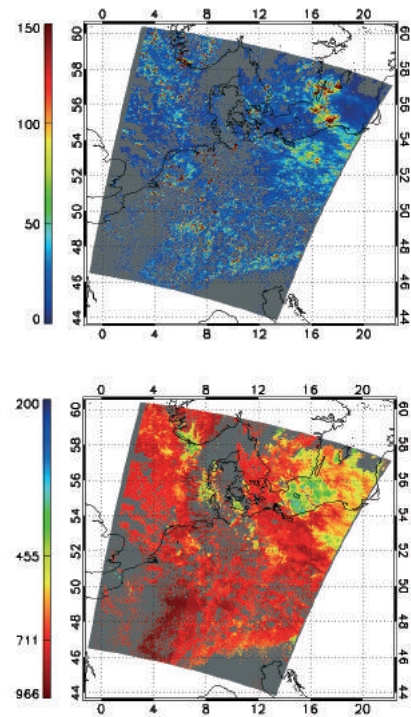
Einer der wichtigsten Einflussfaktoren im Klimasystem ist die Bewölkung, die im Durchschnitt zwei Drittel der Erde bedeckt. Wolken spielen eine wichtige Rolle im Wasserkreislauf und beeinflussen den Energiehaushalt des Systems Erde-Atmosphäre. Trotz intensiver Forschung verstehen die Wissenschaftler die Wechselbeziehung zwischen Wolken und Klima bis heute nicht restlos. Die Wissenschaftler können nicht mit Sicherheit vorhersagen, wie Wolken und Klima-Erwärmung sich letztlich beeinflussen. Während hohe Wolken eher zur Erwärmung der Atmosphäre beitragen, wirken tiefe Wolken kühlend. Auch hat die Dichte einer Wolke maßgeblichen Einfluss darauf, welcher Anteil der Sonnenstrahlung wieder zurückgestreut wird. Dichte Wolken reflektieren besonders viel Strahlung und schirmen die Erde stärker vor dem Sonnenlicht ab.

Zur Verbesserung der Datenlage verwenden Umweltforscher der FU Berlin MERIS-Messungen, aus denen sie Höhe und Dichte von Wolken bestimmen. Dafür werten sie die reflektierte Sonnenstrahlung in zwei Infrarot-Kanälen aus und leiten daraus Informationen über Beschaffenheit und Höhe der Wolken ab. Diese benutzen sie als wichtige Vergleichsgrößen, um ihre Modelle zu verbessern.

The mystery men in our climate system: The clouds

Clouds, which cover two thirds of the Earth on average, are one of the major factors influencing the climate system. Playing an important part in the water cycle, clouds influence the energy regimen of the Earth-atmosphere system. Despite intensive research, scientists do not fully understand the interaction between the clouds and the climate even today. They cannot tell us with any certainty exactly how the clouds and the warming of the climate influence each other. Whereas high clouds tend to lead to a warmer atmosphere, low clouds have a cooling effect. What is more, the proportion of solar radiation that is reflected by a cloud depends greatly on the cloud's density. Dense clouds reflect a particularly large proportion of the sun's rays, providing a better screen for the Earth.

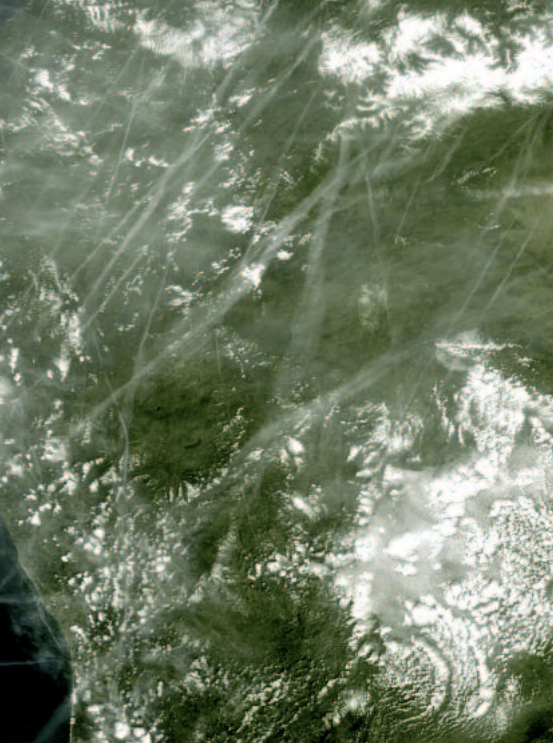
To improve the data situation, environmental researchers at the Free University of Berlin use MERIS measurements to determine the height and density of clouds. To this end, they evaluate measurements of reflected solar radiation in two infrared channels. Their results with regard to the nature and altitude of the clouds are used as benchmarks to improve their models.



Aus MERIS-Messungen abgeleitete Wolkenprodukte für Mitteleuropa am 30. August 2006: Luftdruck an der Wolkenobergrenze (in Hektopascal) und optische Dicke (ein Maß für die Dichte von Wolken)

Cloud data products derived from MERIS measurements for central Europe on August 30, 2006: Atmospheric pressure at the upper edge of the clouds (in hectopascal) and optical thickness (a measure for cloud density)

© J. Fischer, FU Berlin



MERIS-Szene mit Kondensstreifen unterschiedlichen Alters über Nordspanien am 3. August 2004

MERIS scene showing contrails of different age above the north of Spain on August 3, 2004

© ESA

Künstliche Wolken: Die Klimawirkung von Flugzeug- Kondensstreifen

Der Flugverkehr beeinflusst die Strahlungsbilanz des Systems Erde-Atmosphäre durch verschiedene Vorgänge: Kohlendioxid und Wasserdampf werden ausgestoßen, ebenso Stickoxide, die den Ozon- und Methan-gehalt der oberen Troposphäre beeinflussen. Ebenso produzieren Flugzeuge Ruß und Schwefeldioxid, die den Aerosolgehalt erhöhen. Letzteres kann zur Bildung von Eispartikeln führen, die man als Kondensstreifen mit bloßem Auge sieht und die sich zu ausgedehnten Eiswolken entwickeln können. Diese zusätzlichen, vom Menschen verursachten Eiswolken verringern einerseits die Sonneneinstrahlung, andererseits reduzieren sie auch die Wärmeabstrahlung der Atmosphäre. Insgesamt wirken die vom Flugverkehr verursachten Wolken leicht erwärmend.

Wissenschaftler des DLR in Oberpfaffenhofen haben im Auftrag der ESA den Bedeckungsgrad durch deutlich erkennbare, linienförmige Kondensstreifen bestimmt. Sie zogen hierfür Daten des AATSR auf ENVISAT und eines amerikanischen Satelliten heran. Mit Hilfe räumlich höher aufgelöster MERIS-Daten untersuchten sie anschließend die automatische Identifizierung der Kondensstreifen auf Fehler.

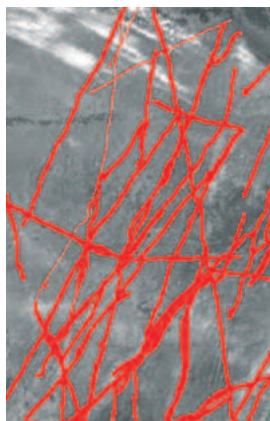
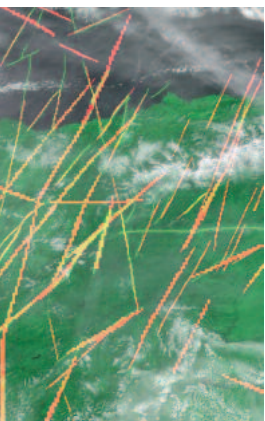
Seit 2002 sind die AATSR-Daten für die gesamte Atmosphäre verfügbar. Zusammen mit dem Vorgängerinstrument ATSR2 auf ERS-2 ist es jetzt möglich, über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren die Kondensstreifenbedeckung mit einer einheitlichen Methode global zu beobachten und Trends abzuleiten.

Artificial clouds: The effects of air- plane condensation trails on the climate

There are various processes involved in air transportation that influence the irradiation balance of the Earth-atmosphere system: Airplanes emit not only carbon dioxide and water vapor but also nitrogen oxides which affect the ozone and methane content of the upper troposphere. They also produce soot and sulfur dioxide which increase the concentration of aerosols. These, in turn, may lead to the development of ice particles which form condensation trails that are visible to the naked eye. These contrails may develop into extensive ice clouds which, entirely human-made, reduce solar irradiation as well as the amount of heat radiated by the atmosphere. All in all, these clouds that are caused by the air traffic have a slightly warming effect.

Commissioned by ESA, DLR scientists at Oberpfaffenhofen recently determined the degree of coverage effected by clearly identifiable linear contrails. The data they used for the purpose were generated by the AATSR instrument on ENVISAT as well as by an American satellite. Afterwards, they checked the automatic identification of contrails for errors, using MERIS data which have a higher spatial resolution.

AATSR data have been available for the entire atmosphere since 2002. Together with those generated by its predecessor, ATSR2 on ERS-2, they enable scientists to analyze contrail coverage over a period of more than 10 years and derive trends from their observations using a consistent methodology.



links: Automatische Kondensstreifen-erkennung mit AATSR (rot) mit visueller Analyse aus MERIS (grün) und Übereinstimmung (gelb), rechts: visuelle Analyse aus Infrarot-Kanälen von AATSR (rot)

Left: Automatic contrail identification by AATSR (red) versus visual analysis from MERIS data (green) and convergence (yellow). Right: Visual analysis based on AATSR infrared measurements (red)

© DLR

Wie viel Wasser ist im Boden?

Der Wassergehalt im Boden ist eine entscheidende Größe des globalen Wasserhaushalts. Der Boden speichert den Niederschlag und stellt das für Pflanzen verfügbare Wasserreservoir dar. Nach längeren Niederschlägen ist der Boden gesättigt und kann kein Wasser mehr aufnehmen. Weitere Niederschläge fließen auf der Oberfläche ab. Bei starkem Regen oder Schneeschmelzen kann dies zu Hochwasser führen. Um Hochwasser-Situationen vorherzusagen zu können, müssen Hydrologen daher den aktuellen Feuchtezustand des Bodens kennen.

Eine flächendeckende Messung der Bodenfeuchte ist mit erdgebundenen Methoden nicht durchführbar, da diese regional sehr unterschiedlich sein kann. Messungen mit satellitengestützten Radar-Instrumenten wie ASAR auf ENVISAT ermöglichen es den Wissenschaftlern hingegen, die Verteilung der Bodenfeuchte großflächig zu bestimmen. Zusätzlich benötigen sie dazu Informationen über Landnutzung, Vegetation und Bodeneigenschaften.

How much water is in the ground?

The amount of water contained in the soil is a crucial item in the global water regimen. Storing precipitation, the soil provides the reservoir of water that is available to plants. After prolonged rain, the soil is saturated and unable to absorb more water. Consequently, any additional rain will run off on the surface. Under these conditions, heavy rainfall or melting snow may cause flooding. To predict floods, therefore, hydrologists need to know the current humidity status of the soil.

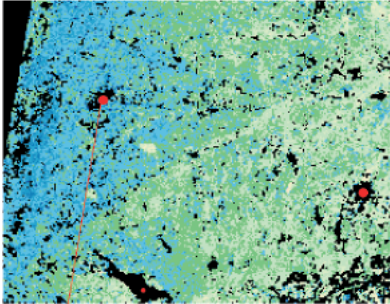
Ground-based methods are unsuitable for measuring soil humidity over large areas because it may vary greatly from one region to the next. By contrast, data delivered by satellite-based radar instruments such as ASAR on ENVISAT do enable scientists to determine the distribution of soil humidity over large areas with the aid of additional information about land use, vegetation and soil properties.



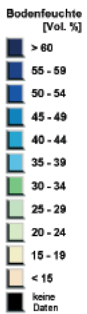
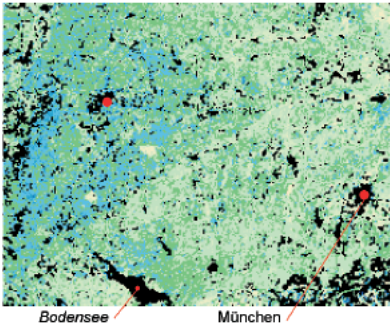
Bodenfeuchte-Information über landwirtschaftlichen Flächen, die aus ASAR-Daten gewonnen wurden
Information on soil humidity in agricultural areas derived from ASAR data

© A. Löw, LMU München

01.11.2004



04.11.2004



Bodenfeuchtekarten von Süddeutschland, gewonnen mit ASAR-Daten. Die nur drei Tage nacheinander aufgenommenen Bilder zeigen das langsame Austrocknen der Böden nach einem Regen

Soil humidity maps for the south of Germany derived from ASAR data. Taken at intervals of no more than three days, the images show the soil drying out slowly after a rainfall

© VISTA

Je nach Aufnahmemodus des Radar-Instrumentes setzen die Umweltforscher unterschiedliche Methoden ein, mit denen sie die Bodenfeuchte bestimmen. Im hochauflösten Modus (besser als 30 Meter) können sie zusätzliche Informationen aus der „Polarisation“ der Radarwellen einbeziehen, das heißt aus der Schwingungsrichtung der elektromagnetischen Wellen. Die Polarisation von Radarwellen ändert sich bei Reflexion am Boden charakteristisch in Abhängigkeit von Bodenbeschaffenheit und -bedeckung. Hierdurch können Wissenschaftler den Einfluss der Vegetation auf das Signal besser abschätzen und die Bodenfeuchte genauer bestimmen. Mit diesem Modus kann schließlich die Feuchtigkeitsverteilung einzelner Anbaufelder, die sich auch auf deren Ertrag auswirken kann, sichtbar gemacht werden.

Mit einem größeren Aufnahmemodus von ASAR lassen sich ganze Flusseinzugsgebiete alle drei Tage aufs Neue abdecken. So können Modelle zur Hochwasser-Vorhersage effektiv gefüttert werden. Wissenschaftler der Universität München konnten beweisen, dass dies die Vorhersage präzisiert. Gefördert durch die DLR Raumfahrt-Agentur haben Wissenschaftler der Universität München ein Verfahren perfektioniert, das sich für den operationellen Einsatz eignet. Ein Münchener Unternehmen kann entsprechende Bodenfeuchte-Daten inzwischen kommerziell anbieten. Bisherige Nutzer sind die Hochwasser-Vorhersagezentralen in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz.

Depending on the imaging mode of the radar instrument, environmental researchers employ different methods to determine soil humidity. In high-definition mode (better than 30 meters), they receive additional information from the polarization of the radar waves, meaning the direction in which the electromagnetic waves oscillate. When reflected on the ground, radar waves change their polarization in a manner which characterizes the condition and coverage of the soil. This enables scientists to assess the influence of vegetation on the signal and determine soil humidity with greater precision. Finally, this mode even shows the distribution of moisture on individual fields, a factor which may affect their crop yield.

Operating in a coarser mode, ASAR may cover entire river catchment areas at three-day intervals, thus providing meaningful input data for flood prediction models. Scientists at Munich University successfully demonstrated that this results in more accurate forecasts. Supported by the DLR Space Agency, they developed an enhanced method that is suitable for operational application. A company domiciled in Munich now markets soil humidity data on a commercial basis. Current users include the flood forecast centers of Baden-Wuerttemberg and Rheinland-Palatinate.

Schneebeobachtung und Modellierung des Wasser- haushalts

In weiten Teilen der Welt spielt Schnee für den Wasserhaushalt eine große Rolle. Der Alpenraum zeichnet sich durch lang anhaltende Schneedecken aus, die Mittelgebirge hingegen durch sehr schwankende. In beiden Regionen hat der Schneevorrat einen deutlichen Einfluss auf Wasserverfügbarkeit und Hochwassergefahr.

Die genaue Kenntnis der Schneeverteilung ermöglicht den Hydrologen sowohl eine kurz- als auch eine langfristige Vorhersage des Abflusses und des Wasserstandes in den Flüssen. Gute Vorhersagen und rechtzeitige Warnungen helfen nicht nur, wirtschaftliche und persönliche Schäden zu vermeiden, die gewonnenen Informationen erlauben auch, den Wasserstand in Stauseen und die Stromgewinnung in Wasserkraftwerken besser zu planen.

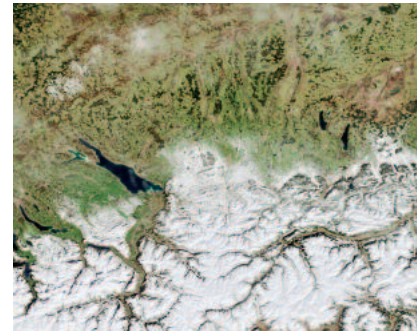
Erdbeobachtungssatelliten mit optischen und Radarinstrumenten liefern den Hydrologen zeitnahe und flächendeckende Informationen über die Entwicklung der Schneedecke. Durch die Verbindung von Daten des ASAR-Instrumentes auf ENVISAT und seiner beiden Vorgänger-Radars auf den Satelliten ERS-1 und ERS-2 mit Computer-Modellen des Wasserhaushalts können die Wissenschaftler Extremwasserstände vorhersagen. In enger Zusammenarbeit mit den Hochwasservorhersage-Zentralen Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz wurden Methoden und Produkte entwickelt, die nun direkt in die Modellierung des Abflusses an Mosel, Rhein und Neckar eingearbeitet werden.

Snow observations and water regimen models

There are large regions in the world where snow plays a big part in the water regimen. While snow covers are long-lived in the Alps, they fluctuate widely in the lower mountain ranges of Germany. In both these regions, however, snow reserves markedly influence the availability of water and the danger of flooding.

Accurate data on the distribution of snow enable hydrologists to make short and long-term forecasts of run-off volumes and river water levels. Accurate forecasts and timely warnings not only help to avoid damage to commercial and personal property, they also assist in projecting reservoir water levels and hydroelectric power generation.

Earth observation satellites equipped with optical and radar instruments provide hydrologists with comprehensive up-to-date information about the development of the snow cover. By combining the data delivered by the ASAR instrument on ENVISAT with those of the two older radar instruments on the ERS-1 and ERS-2 satellites and feeding them into computer models simulating the water regimen, scientists can predict extreme water levels. In close cooperation with the flood forecast centers of Baden-Wuerttemberg and Rhineland-Palatinate, methods and products have been developed that are currently being integrated in the drainage models of the Moselle, Rhine and Neckar rivers.



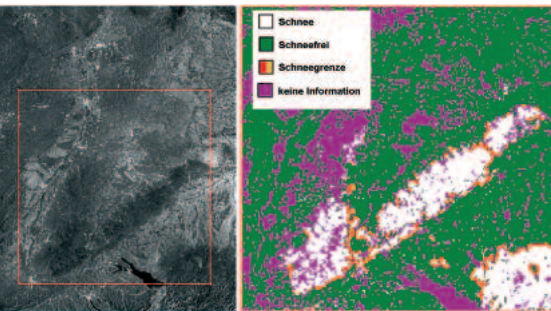
Schneebedeckung über dem nördlichen Alpenraum, MERIS-Aufnahme vom 16. März 2004

Snow cover in the northern Alpine regions: MERIS image of March 16, 2004

© ESA

Vegetations- und Landnutzungsinformation aus dem

Vegetation and land use information from



Schneebedeckung und Schneegrenze (rechts), bestimmt aus einer ASAR-Aufnahme (links) für den 21. Februar 2006. Die Schneeflächen auf der Schwäbischen Alb, dem südlichen Schwarzwald und im Allgäu sind im Original-Radarbild als dunkle Bereiche zu erkennen

Snow cover and snow boundaries (right) derived from an ASAR image (left) taken on February 21, 2006. On the original radar image, areas covered with snow in the Swabian Jura, the southern Black Forest and the Allgäu show up as dark patches

© VISTA

Zu den alarmierenden globalen Umweltveränderungen gehört auch die beschleunigte Veränderung der Landbedeckung. Sie ist von zentraler Bedeutung für das Klima, die Biosphäre und den Wasserkreislauf. Sie hat zudem Einfluss auf Artenvielfalt und -vorkommen. Umweltforscher beobachten daher den weltweiten Wandel der Landbedeckung, insbesondere den der Vegetation, um kritische Entwicklungen früh zu erkennen und politische Maßnahmen zu empfehlen. Hierfür benutzen sie Daten von verschiedenen ENVISAT-Sensoren.

Vegetationsindex aus MERIS-Daten

Um Merkmale der Pflanzendecke vorhersagen und bewerten zu können, wird der sogenannte Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) herangezogen. Solche Merkmale sind zum Beispiel die Blattfläche, Gesamtbiomasse, Unterteilung in frische und trockene Biomasse, Chlorophyllgehalt der Pflanzen, die Pflanzenhöhe und der Pflanzenstress. Für die Landwirtschaft kann der Vegetationsindex wichtige Informationen über den Getreide- und Futterertrag liefern.

Aus Daten des amerikanischen Instruments AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) wird seit 1978 ein Vegetationsindex mit einer räumlichen Auflösung von etwa einem Kilometer bestimmt. Klima- und Umweltforscher nutzen ihn seit vielen Jahren. Dieser Service wird nun mit dem MERIS-Sensor auf ENVISAT fortgeführt, der mit 300 Metern eine deutlich höhere Auflösung besitzt. Zu diesem

Another alarming fact about our global environment is the high rate at which land coverage keeps changing. Land coverage is crucial for the climate, the biosphere and the water cycle. Besides, it influences the diversity and habitat of biological species. For these reasons, environmental researchers observe global changes in land coverage, especially vegetation, so that critical developments can be identified and political measures recommended as early as possible. Data from various ENVISAT sensors are used for this purpose.

Vegetation index based on MERIS data

The so-called Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) serves to predict and evaluate plant cover characteristics. These characteristics include, for example, leaf area, overall biomass, fresh versus dry biomass, plant chlorophyll content, plant height and plant stress. For agriculture, the vegetation index provides important information about grain and feed yields.

Since 1978, data from the American AVHRR instrument (Advanced Very High Resolution Radiometer) have been used to generate a vegetation index with a spatial resolution of about one kilometer. Climate and environmental researchers have been using this index for many years. Now, the MERIS sensor on ENVISAT with its superior resolution of 300 meters is continuing this service. For this purpose, DLR researchers at the German Remote Sensing Data Center in Oberpfaffenhofen developed a

Zweck entwickelten DLR-Forscher am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum in Oberpfaffenhofen einen zum AVHRR-Index kompatiblen Vegetationsindex. Hierzu benutzten sie ein Computermodell, das die Streuung von Boden, Blatt, Bestand und Atmosphäre beschreibt. Mit seiner Hilfe berechneten die Wissenschaftler die ankommende Strahlung am Satelliten für verschiedene Vegetationsbestände. Anhand der Modellergebnisse bestimmten sie mittlere Korrekturfunktionen, um aus den MERIS-Signalen einen „AVHRR-kompatiblen NDVI“ abzuleiten. Der Index wird routinemäßig berechnet und zur Überwachung der Vegetation herangezogen.

Bestimmung von Landnutzungstypen

Staatliche Organisationen teilen die Landesflächen immer stärker in unterschiedliche Nutzungstypen ein. Dies hilft ihnen, ihre umwelt- und agrarpolitischen Maßnahmen zu steuern und Raumplanung zu betreiben. Grundlegende Daten können hierzu sowohl mit MERIS als auch mit ASAR gewonnen werden.

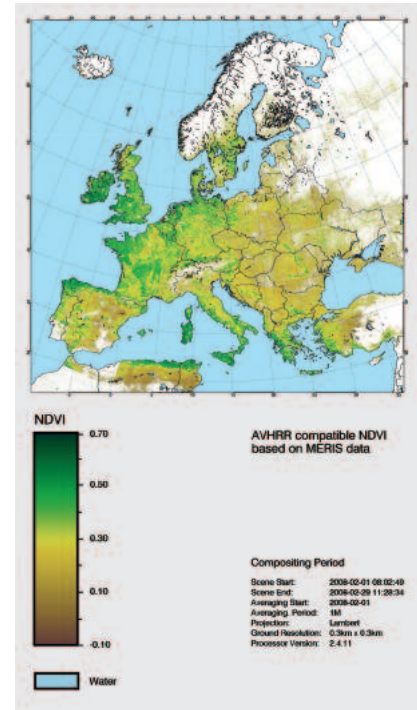
Aufgrund der großen Datenmengen muss die Klassifikation automatisch, also ohne direkten Eingriff eines Wissenschaftlers, und mit geringer Fehlerquote ablaufen. Im Rahmen eines Projektes der ESA haben DLR-Forscher am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum ein solches Verfahren entwickelt und eine Karte der Landbedeckung und Landnutzung von Deutschland erstellt. Aus den Informationen und deren zeitlicher, etwa saisonaler Veränderung können beispielsweise grüne Vegetation, Wälder, Städte oder Böden unterschieden werden. Hierzu muss zunächst eine umfangreiche Vergleichsdatenbank berechnet werden, die auch die unterschiedlichen Blickwinkel der Instrumente berücksichtigt. Durch Abgleich mit der Datenbank wird dann jeder Beobachtungsszene die wahrscheinlichste Klassifikation zugeordnet.

vegetation index that is compatible with the AVHRR product. They worked with a computer model describing the light scattering properties of soil, leaf, vegetation and atmosphere data to analyze the radiation reflected to the satellite by various kinds of vegetation. Based on the results from the model, they developed the mean correction functions required to derive an "AVHRR-compatible NDVI" from MERIS signals. The index is now computed routinely and used to monitor vegetation.

Identifying land use types

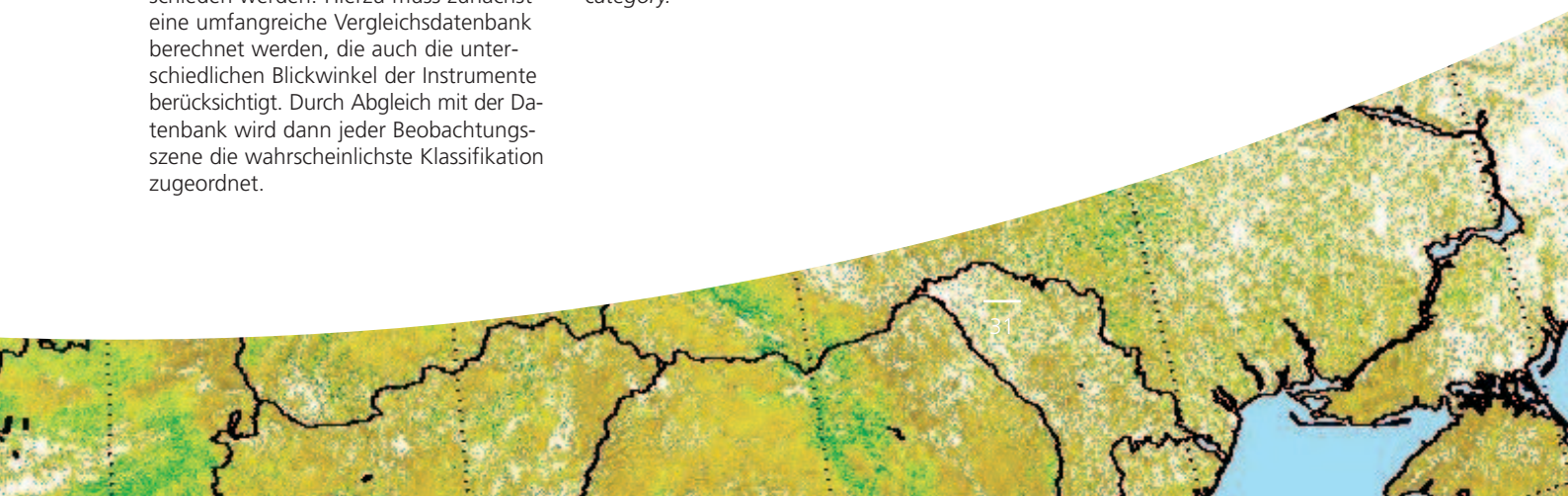
Governmental organizations keep breaking down territories into different land use types. This assists them in controlling measures in environmental and agricultural policy as well as in regional planning. The data required may come either from MERIS or from ASAR.

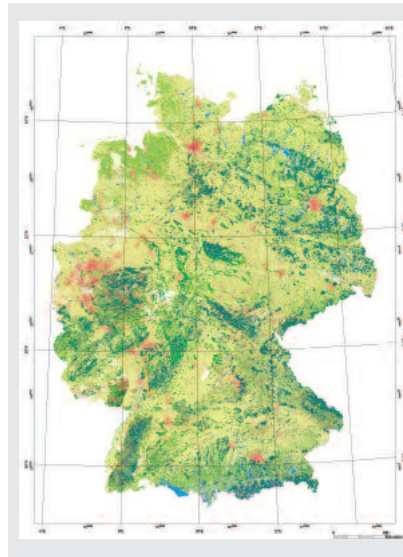
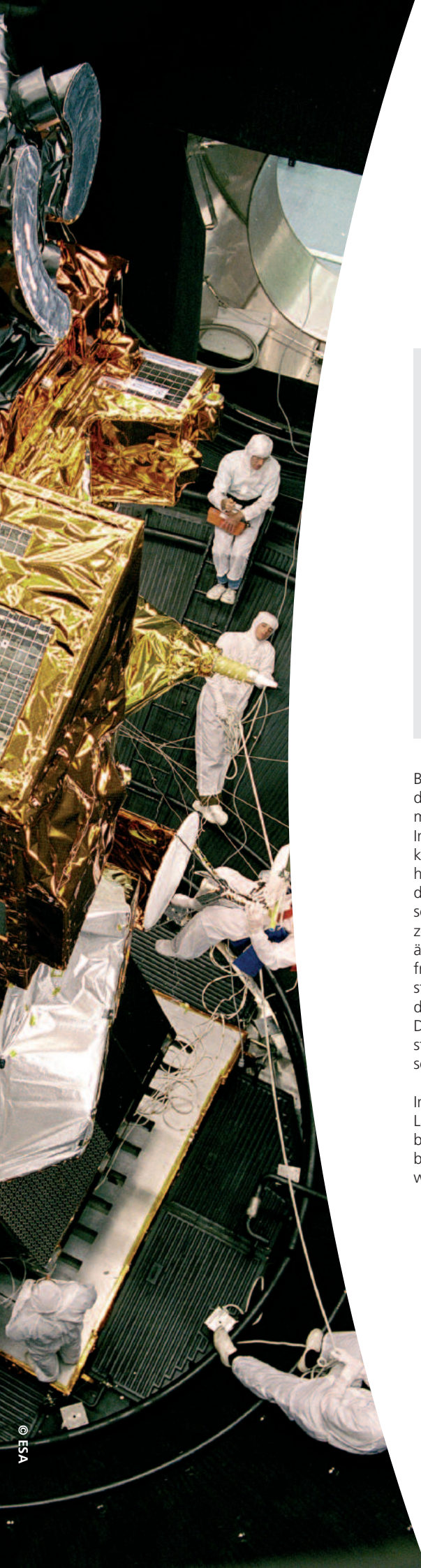
Because of the large data volumes involved, the classification process must be automatic, meaning that it should not require human intervention, and the error rate must be low. Having developed such a process under an ESA project, DLR researchers at the German Remote Sensing Data Center used it to generate a map showing land coverage and land use in Germany. These data and the seasonal and other changes they undergo in the course of time permit identifying green vegetation, forests, cities and soil types, among other things. However, this calls for the creation of a voluminous reference database which allows for differences in the instruments' angle of view. Then, each observation scene is matched against the database to fit it into its most probable category.



Vegetations-Index im Februar 2008 über Europa, aus MERIS-Daten abgeleitet
Vegetation index for February 2008 based on MERIS data

© DLR





- Sommergrüner Laubwald
- Immergrüner Nadelwald
- Mischwald
- Grasland
- Feuchtgebiete
- Landwirtschaftliche Flächen
- Landwirtschaftliche Flächen nach der Ernte
- Vegetationslose und -arme Flächen
- Städtische und bebauten Flächen
- Wasserflächen
- Unklassifiziert

Klassifikationskarte zur Landnutzung 2004 in Deutschland auf Basis von MERIS-Daten
Land use classification map of Germany for the year 2004 based on MERIS data

© DLR

Besonders genaue Details der Landbedeckung können mit dem Radar-Instrument ASAR beobachtet werden. Da das Instrument auch durch Wolken blicken kann, können die Daten mit besonders häufiger Wiederholrate gewonnen werden. Dies ist besonders für die Landwirtschaft interessant, da sich hier die Pflanzen- und Bodenverhältnisse sehr schnell ändern. Um die Möglichkeiten der Feldfruchtkartierung aus dem All zu demonstrieren, hat die DLR Raumfahrt-Agentur das Verbundprojekt ENVILAND initiiert. Die für dieses Projekt benötigten Gelder stellte das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie zur Verfügung.

Im Rahmen von ENVILAND wurde die Landnutzungskarte mit Hilfe eines kombinierten Verfahrens erstellt. Dieses verbindet Ergebnisse einer statistischen Auswertung über einzelne Bildelemente (Pixel)

The ASAR radar instrument observes land coverage in highly precise detail. As it is able to see through clouds, it generates data at an uncommonly high repeat rate, a fact that is particularly important in agriculture where plant and soil conditions change very quickly. To demonstrate the opportunities offered by mapping crops from space, the DLR Space Agency initiated a joint project called ENVILAND that is funded by the Federal Ministry for Economics and Technology.

mit denen einer objektbasierten Auswertung, bei der einzelne Bildelemente zu größeren Einheiten zusammengefasst werden. Jedem Bildobjekt wurde dabei die Landnutzungs-kategorie zugewiesen, zu der die meisten Bildelemente innerhalb des Objekts nach statistischer Wahrscheinlichkeit hinzugehören. In einem Gebiet im Südharz wurden parallel zu den Satellitenaufnahmen von der Universität Jena detaillierte Referenzdaten über Anbaufrucht, Vegetationshöhe und Wachstumsstadium erhoben. Der von den Wissenschaftlern durchgeführte Vergleich ergab, dass die Landnutzung aus dem Weltraum mit ENVISAT zu 90 Prozent richtig erfasst werden kann.

Beobachtung der Wälder

ASAR-Daten können auch dazu eingesetzt werden, um Veränderungen in der Landoberfläche zu entdecken. Ein wichtiges Einsatzgebiet ist hier die großflächige Überwachung von Waldgebieten. Für die schnelle Erfassung von Störungen, beispielsweise durch Feuer, Windbruch, Insektenbefall oder auch illegale Abholzung, bieten Satellitendaten großes Potenzial. So entwickelten Forscher der Universität Jena ein Verfahren, mit dem sie Veränderungskarten von Waldgebieten erstellen. Das Ergebnis ist so präzise, dass sie Abholzungs- und Waldbrandflächen voneinander unterscheiden können.

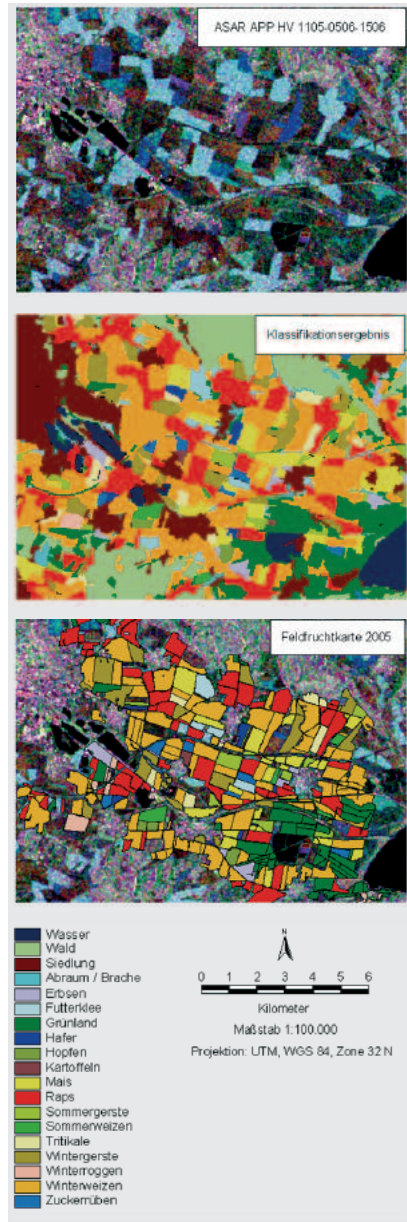
Für den operationellen Einsatz von Informationsprodukten, die aus Satellitendaten gewonnen werden, wird es künftig immer wichtiger werden, Daten verschiedener Sensoren, womöglich auf verschiedenen Satelliten, zu nutzen. Die Erfassung der Landoberfläche kann dadurch nicht nur in ihrer thematischen und geometrischen Genauigkeit, sondern auch hinsichtlich der zeitlichen Kontinuität der Produktlieferung verbessert werden.

Under ENVILAND, a land use map was generated in a process that combines results obtained by statistically evaluating individual image elements (pixels) with those of an object-based evaluation in which individual pixels are merged into larger units. The land use category assigned to an image object was that to which, according to statistical probability, most of its pixels belonged. In an area in the southern Harz mountains, the University of Jena gathered detailed reference data on crops, vegetation heights and growth stages to match them against satellite images. Conducted by scientists, the comparison showed that the results of land use surveys from space obtained from ENVISAT are 90 percent correct.

Observing the forests

ASAR data may also be used to detect changes in the land surface, one major application being the surveillance of large tracts of forest. Satellite data have a great potential for quickly detecting disruptions caused by fires, storms, insects or even illegal logging. Scientists from Jena University developed a method for mapping changes in forest areas. Their results are precise enough to enable them to distinguish areas affected by logging from others damaged by forest fires.

Using data from different sensors that may even be installed on different satellites will become more and more important for the operational application of information products derived from satellite data. Not only would this improve the thematic and geometric accuracy of land surface maps, the temporal continuity of the product delivered would improve as well.

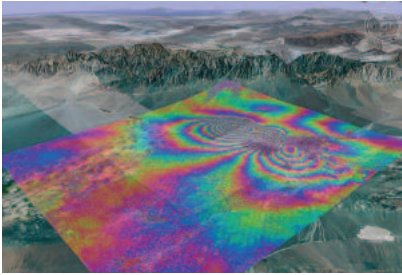


Feldfruchtkartierung (mitte) im Untersuchungsgebiet des südlichen Harz, abgeleitet aus ASAR-Daten (oben), sowie laut Daten-Erhebung am Boden (unten)

Crop charts (center) in the southern Harz mountains as derived from ASAR (top) and on ground truth data (bottom)

Kleinste Veränderungen der Erdoberfläche

Minute changes of the Earth's surface



Interferogramm des Erdbebens von Bam (Iran)
Interferogram of the Bam earthquake (Iran)

© DLR, Darstellung: Google Earth®

Eine weitere Möglichkeit, die Erde mit ENVISAT zu untersuchen, ist die sogenannte SAR-Interferometrie. Dabei werden zwei SAR-Bildern der gleichen Gegend überlagert und daraus Interferenzmuster erzeugt. Mit diesem der Holografie ähnlichen Verfahren werden kleine Unterschiede der Bilder sichtbar. Die Effekte eines unterschiedlichen Blickwinkels auf das Gelände können entweder zur Erstellung eines Höhenmodells genutzt oder – mittels der sogenannten differentiellen Interferometrie – modelliert und korrigiert werden. Kleinste Veränderungen der Erdoberfläche können so beobachtet werden. Besonders bekannt wurde diese Methode durch ihre Ergebnisse bei der Messung von Verformungen der Erdkruste durch Erdbeben oder vulkanische Aktivität.

Die Weiterentwicklung der differentiellen Interferometrie ist die sogenannte Persistent-Scatterer-Interferometrie (PSI). Bei diesem Verfahren ist es üblich, 20 bis 100 Radar-Aufnahmen aus einem viele

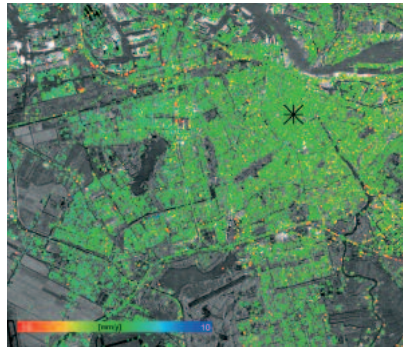
Another option of studying the Earth from ENVISAT is SAR interferometry. This involves generating interference patterns by superimposing two SAR images of the same area. Resembling holography, this method reveals minute differences between the two images. The effects caused by varying the angle from which a region is viewed may be used to generate elevation models, or else differential interferometry may be employed to model and correct these effects. Even minute changes in the Earth's surface can be observed in this way. The method is best known for its performance in measuring deformations in the Earth's crust caused by earthquakes or volcanic activity.

Derived from differential interferometry, a method called Persistent Scatter Interferometry (PSI) commonly involves evaluating between 20 and 100 radar images taken over many years. This enables seismologists to measure ground movements amounting to no more than a few millimeters per year with extreme accuracy. Among other things, the method is used to observe ground movements caused by underground water depletion, mining activities or faults in the foundations of

Jahre umfassenden Zeitraum auszuwerten. Dadurch können Seismologen die Erdbewegung höchst genau im Bereich von wenigen Millimetern pro Jahr messen. Sie setzen diese Methode etwa dafür ein, um Bodenbewegungen zu beobachten, die durch Grundwassernutzung, Bergbau oder fehlerhafte Fundamentierung von Gebäuden entstehen. Auch das Kriechen instabiler Hänge kann in vielen Fällen millimetergenau vermessen werden.

Am Institut für Methodik der Fernerkundung des DLR wurde das System PSI-GENESIS entwickelt, das bei verschiedenen Fernerkundungsvorhaben eingesetzt wird. Eines davon ist das Projekt TerraFirma der ESA, in dem ein Informationsdienst zur Messung und Bewertung von Bodenbewegungen aufgebaut wird. Das PSI-GENESIS-System dient dabei als Referenz, mit dem die Funktion und Genauigkeit der verschiedenen Datenverarbeitungssysteme geprüft wird. Im Rahmen von TerraFirma wurden aus Daten der europäischen Satelliten ERS-1, ERS-2 und ENVISAT Karten der Bodenabsenkung für zahlreiche europäische Städte und Regionen erzeugt und von lokalen Nutzern weiterverwertet.

Beispielsweise konnten die Forscher großflächige Absenkungen in der Hafenanlage von Amsterdam beobachten. Einzelne Gebäude der Innenstadt sacken ebenfalls ab. Der Grund dafür ist wahrscheinlich die künstliche Grundwasserabsenkung, um unter anderem den Flughafen trocken zu halten. Dadurch kommen die in der Gründerzeit verwendeten Holzpfosten, die früher vollständig unter Wasser waren, in Kontakt mit Luft und verlieren ihre Tragkraft.



Deformationsschätzung für das Stadtgebiet von Amsterdam aus ASAR-Daten. Rote Farbe signalisiert Punkte mit starker Setzungsgeschwindigkeit

Assessment of deformations in the city of Amsterdam derived from ASAR data. Locations with a high rate of settlement are marked in red

© DLR

buildings. Often, even creep movements in unstable slopes can be measured down to the last millimeter.

Developed at the DLR Institute of Remote Sensing Methodology, PSI-GENESIS is a system used in a variety of remote sensing projects. One of these is TerraFirma, under which ESA aims to set up an information service for measuring and evaluating ground movements. In this case, PSI-GENESIS serves as a reference system for testing the functionality and accuracy of the data processing systems employed. Under TerraFirma, data from the European satellites ERS-1, ERS-2 and ENVISAT were used to generate ground subsidence maps for numerous European cities and regions which were then employed by local users in their operations.

Thus, for example, researchers detected large-scale subsidences in the port of Amsterdam, and some buildings in the city center were found to be settling as well. The reason for this probably lies in the fact that the underground water table is being lowered artificially to keep the airport and other installations dry. Formerly completely submerged, the wooden piles on which the houses were built when the city was founded now come into contact with the air, thus losing their strength.



Ergebnis der Deformationsschätzung als Overlay (Überlagerungs-Schicht, einblendbare Zusatz-Information) für Google Earth®. An einzelnen Gebäuden sind deutliche Senkungen erkennbar

Result of the deformation assessment as an overlay for Google Earth®. Individual buildings show unmistakable signs of subsidence

© DLR, Darstellung: Google Earth®

Ozeanbeobachtung: Wasserqualität und Monster- *Observing the oceans: Water quality*

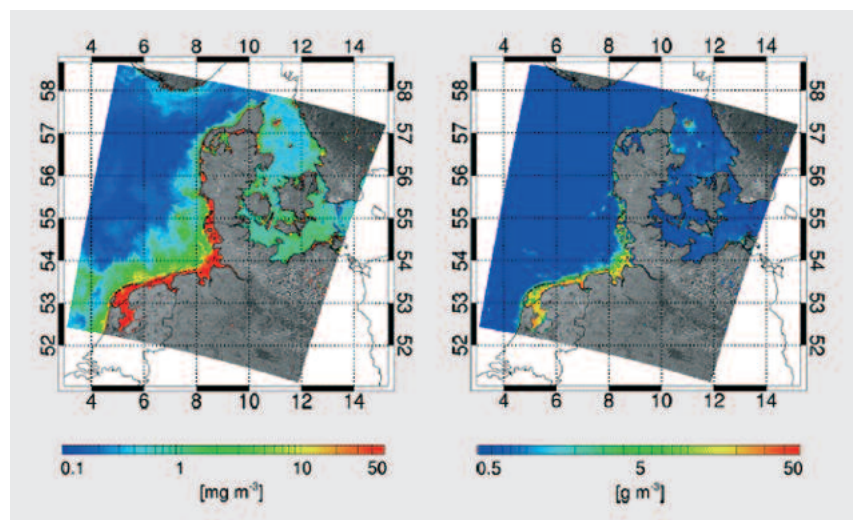
Etwa zwei Drittel der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Im Klimahaushalt der Erde spielen insbesondere die Ozeane als Energiespeicher, Sauerstoffquelle und Kohlendioxid-senke eine herausragende Rolle. Der Sensor MERIS auf ENVISAT misst die von der Erde ausgehende Strahlung im sichtbaren und Nah-Infrarot-Bereich flächendeckend alle drei Tage. Dabei nimmt der Sensor hochgenau die Farbcharakteristik der Gewässer auf, die durch Streu- und Absorptionsvorgänge im Wasser und an seinen Inhaltsstoffen verursacht wird. Mit Hilfe von physikalisch-mathematischen Rechenmodellen ist es Forschern möglich, aus den Satellitendaten etwa die Chlorophyllkonzentration im Gewässer zu ermitteln.

Water covers about two thirds of the Earth's surface. The oceans play a preeminent part in the Earth's climate regimen because they store energy, release oxygen and absorb carbon dioxide. Every three days, the MERIS sensor on board ENVISAT completes a scan of the entire Earth for radiation emitted in the visible and near-infrared range, measuring with great precision the characteristic color of each body of water that is caused by internal scatter and absorption processes as well as by the substances it contains. Physical-mathematical models enable researchers to determine, among other things, the concentration of chlorophyll in the water from satellite data.

Aus MERIS-Daten berechnete Chlorophyll-Konzentration (links) und Schwebstoff-Konzentration (rechts) über Nord- und Ostsee am 15. Juli 2003

Concentration of chlorophyll (left) and suspended matter (right) in the North Sea and the Baltic derived from MERIS data of July 15, 2003

© J. Fischer, FU Berlin



Wellen and monster waves

ENVISAT > Ozeanbeobachtung
ENVISAT > Observing the oceans

Erkundung von Wasserinhaltsstoffen mit MERIS

Chlorophyll ist der grüne Farbstoff, der in Blättern und Plankton eine Schlüsselfunktion bei der Photosynthese hat. Die Menge an Chlorophyll spielt daher auch eine zentrale Rolle bei der Aufnahme von Kohlenstoff in den Ozeanen. In der Forschung besteht immer noch eine große Unsicherheit darüber, wie viel des zusätzlich vom Menschen freigesetzten Kohlendioxids vom Ozean aufgenommen wird und wie stark sich dies mit der Erwärmung der Meere ändern wird.

Sterben Plankton oder Blätter ab, so zerfällt Chlorophyll in sogenannte Gelbstoffe, deren Menge ebenfalls aus den Satellitendaten berechnet werden kann. Zellreste von Blättern oder Plankton werden zusammen mit mineralischen Komponenten als Schwebstoffe bezeichnet und können ebenso bestimmt werden. Alle drei Stoffgruppen treten nebeneinander in Küsten- und Binnengewässern auf. Gemeinsam charakterisieren sie die Wasserqualität. So können Meeresbiologen aus ihrem Aufkommen beispielsweise Schlüsse über außergewöhnliche Algenblüten in Nord- und Ostsee ziehen.

Diese Informationen werden täglich von Bundes- und Landesbehörden benutzt, die mit Umweltüberwachung und -schutz beauftragt sind. Über das Internet stehen sie aber auch der allgemeinen Öffentlichkeit zur Verfügung.

Exploring water- borne substances with MERIS

Chlorophyll is the name of the green substance that plays a key role in the photosynthesis occurring in leaves and plankton. This is why the amount of chlorophyll present is crucial for the absorption of carbon in the oceans. Researchers are still very uncertain about how much of the extra carbon dioxide that is released by human activity is actually absorbed in the oceans, and how much this process will change as the seas grow warmer.

When plankton organisms or leaves die, chlorophyll decomposes into so-called fulvic acids whose concentration can be similarly determined from satellite data. Collectively called suspended matter, the remains of leaves or plankton as well as mineral components can be measured in the same way. All three substance categories occur side by side in coastal and inland waters. Together, they characterize the quality of the water, so that their incidence enables marine biologists to draw conclusions about, for example, unusual algal blooms in the North Sea or the Baltic.

This type of information is used every day by those Federal and State authorities that are in charge of monitoring and protecting the environment. The material is also available to the general public on the internet.



MERIS-Aufnahme einer Blaualgenblüte in der Gotlandsee (Echtfarb-Komposit)

MERIS image of a blue algae bloom in the Gotland Sea (true color composite)

© ESA



Monster-Welle im Golf von Biscaya, Frankreich
Monster wave in the Bay of Biscay, France

© NOAA, 1993

Hurrikan Katrina über dem Golf von Mexiko am 28. August 2005
Hurricane Katrina above the Gulf of Mexico on August 28, 2005

© DLR

Ozeanbeobachtung für die Schifffahrt

Die Vielfalt der Instrumente auf ENVISAT bietet einzigartige Möglichkeiten, um die Ozeane besser als zuvor zu überwachen. Durch die gemeinsame Nutzung des optischen Sensors MERIS und der Radar-Sensoren ASAR und RA-2 können beispielsweise Sturmsysteme dreidimensional durchleuchtet werden. Im sichtbaren Licht erkennt man zunächst nur die Oberfläche der Wolken. Ihre Struktur und Höhe ermöglichen erste Rückschlüsse auf die Dynamik in ihrem Inneren. Die Radarinstrumente ASAR und RA-2 können sogar durch die Wolken schauen. Mit ihrer Hilfe erfassen die Wissenschaftler den Seegang an der Meeresoberfläche. Aus diesem berechnen sie Windgeschwindigkeit und -richtung.

Auch das Auftreten von extrem hohen Wellen – oft ins Reich des Seemannsgarns geschoben – konnte mit Hilfe von ENVISAT bestätigt werden. Mit hochauflösenden Daten des Radar-Instruments ASAR können Ozeanographen einzelne Wellen vermessen. Mit speziellen Computerprogrammen haben sie systematisch Millionen von Radar-Aufnahmen durchsucht. So konnten sie eine weltweite Seegangstatistik erstellen. Extreme Wellenhöhen, so ihr Ergebnis, sind viel häufiger als bisher gedacht: Nimmt man alle Weltmeere zusammen, so findet man etwa zwei bis drei solche Monsterwellen pro Woche. Mit Höhen von 30 Metern

Observing the oceans to the benefit of navigation

The diversity of instruments on board ENVISAT offers unique opportunities to survey the oceans better than before. To quote one example: Storm systems may be X-rayed in three dimensions by combining the optical sensor MERIS with the radar sensors ASAR and RA-2. Viewed in daylight, all that is visible at first is the surface of the clouds whose structure and altitude permits tentative conclusions regarding their interior dynamics. Being radar instruments, ASAR and RA-2 are able to look through the clouds. Scientists use these two instruments to measure the motion of the sea from which they compute the velocity and direction of the wind.

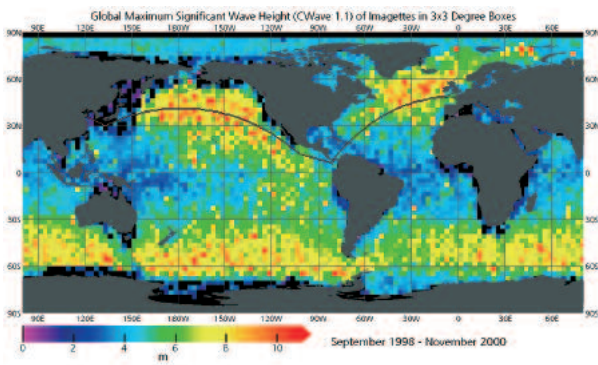
Often relegated to the realm of sailors' yarns, the occurrence of extremely high waves was similarly confirmed with the aid of ENVISAT. High-resolution data from the ASAR radar instrument enable oceanographers to establish the dimensions of individual waves. Having searched through millions of radar images with dedicated computer programs, they developed a global wave statistic. They found that extremely high waves are much more frequent than assumed: Looking at all the oceans of the world, you will find two to three such monster waves per week. Rearing up to 30 meters, monster

übertreffen Monsterwellen gewöhnliche hohe Wellen um das Doppelte. Durch diese enorme Höhe und ihr plötzliches Auftreten stellen Monsterwellen selbst für große Schiffe eine Gefahr dar.

Glücklicherweise treffen diese Wellen nicht jedes Mal ein Schiff. Viele bislang ungeklärte Schiffskatastrophen könnten aber auf Monsterwellen zurückgehen: Die größten Seegangshöhen fanden die Forscher ausgerechnet entlang der nördlichen Schifffahrtsrouten, und zwar in den Wintermonaten.

waves are twice as high as waves of ordinary height. Because of their enormous height and the suddenness of their appearance, monster waves are dangerous even to large ships.

Luckily, not every one of these waves runs into a ship, although many mysterious disasters at sea may be ascribable to monster waves: Researchers found that the highest waves occur nowhere else but along the northern shipping lanes, especially in the winter months.



Globale Seegangstatistik der maximalen signifikanten Wellenhöhe mit eingezeichneten Schiffrouten
Global wave statistic showing maximum significant wave heights and shipping lanes

© DLR

Die Zukunft: Was kommt nach ENVISAT?

The future: What comes after ENVISAT?

Die Mission ENVISAT hat ihre geplante Dauer von fünf Jahren bereits überschritten. Die meisten Instrumente liefern aber weiterhin exzellente Daten, und es ist noch Treibstoff für Korrekturmanöver des Satelliten vorhanden. Dieser wird bei gleichbleibendem Betrieb etwa im Jahr 2010 aufgebraucht sein. Die Missionskontrolle der ESA versucht jedoch, das Ende dieser erfolgreichen Mission mit trickreichen Treibstoff-Einspar-Manövern weiter hinauszuzögern, im besten Fall bis 2013.

The ENVISAT mission has already outlasted its scheduled life of five years. However, most instruments continue to deliver excellent data, and there is some fuel left in the satellite for further correction maneuvers. Assuming that operating conditions remain the same, this reserve will be used up by 2010. However, ESA mission control is trying every trick in the fuel-saving book to defer the end of the successful mission until 2013, if possible.

Die GMES-Initiative

Für die Zeit nach ENVISAT wird bereits gesorgt. Viele ENVISAT-Produkte haben sich als Grundlage für wichtige Informations-Dienste etabliert, die regelmäßig nachgefragt werden. Um diesen Diensten eine verlässliche Basis ähnlich der Wettervorhersage mit den meteorologischen Satelliten zu bieten, beschlossen die Europäische Kommission und die ESA im Juni 2001 den Start der Initiative GMES. GMES steht für „Global Monitoring for Environment and Security“. Die Initiative zielt darauf ab, eine unabhängige europäische Kapazität zu errichten, die kostengünstige, nachhaltige und am Nutzer orientierte umwelt- und sicherheitsrelevante Informationspakete liefert.

Neben der Einbindung von weiteren Informationsquellen muss hierfür insbesondere die Kontinuität von Satellitendaten sichergestellt werden. Hierzu wurde das Programm der GMES Sentinels (deutsch: Wächter) geschaffen. Es umfasst fünf Satellitenfamilien, die derzeit von der ESA entwickelt werden und ab 2011 langfristig die Arbeit von ENVISAT im Routinebetrieb fortsetzen sollen. Deutschland trägt in der Aufbauphase mit etwa einem Viertel einen hohen finanziellen Beitrag an diesen Missionen und entspricht damit seiner Führungsrolle in der weltweiten Umweltpolitik.

The GMES initiative

The time after ENVISAT has already been taken care of. Many ENVISAT products have established themselves as sources for important information services for which there is a regular demand. To provide a foundation for these services that is as reliable as that furnished by meteorological satellites for weather forecasts, the European Commission and ESA decided to launch the GMES initiative in 2001. GMES stands for "Global Monitoring for Environment and Security". The initiative aims at creating an independent European capability for delivering cost-efficient, sustainable and user-oriented packages of environmental and security information.

Next to integrating additional information sources, the most important problem is to ensure the continuity of satellite data. To this end, the GMES Sentinel program was created. It includes five satellite families that are currently being developed by ESA to assume the role of ENVISAT in routine operations. Shouldering about one quarter of the cost during the setup phase, Germany's substantial financial contribution to these missions reflects its leading role in environmental policy.

Die fünf Sentinel-Missionen

Sentinel 1

C-Band-Radar für wetter- und beleuchtungsunabhängige Beobachtung der Ozeane und Landoberflächen sowie zur Seeis Kartierung

Sentinel 2

Multispektraler optischer Sensor mittlerer räumlicher Auflösung zur Beobachtung von Landbedeckung und Landnutzung

Sentinel 3

Sensoren zur Meeresbeobachtung: Ozeanfarbe, Ozeanoberflächentemperatur und -höhe

Sentinel 4

Atmosphärenüberwachung: Treibhausgase, Luftqualität; Ozon und Solarstrahlung aus geostationärem Orbit (36.000 Kilometer Höhe)

Sentinel 5

Atmosphärenüberwachung: Treibhausgase, Luftqualität; Ozon und Solarstrahlung aus polarem Orbit (800 Kilometer Höhe)

The five Sentinel missions

Sentinel 1

C-band radar for observing oceans and land surfaces and generating sea ice maps independently of weather and daylight conditions

Sentinel 2

Multispectral optical sensor for observing land coverage and land use at medium spatial resolution

Sentinel 3

Sea observation sensors for measuring the color of the oceans as well as the temperature and elevation of their surface

Sentinel 4

Monitors greenhouse gases, air quality, ozone concentrations and solar irradiation in the atmosphere from a geostationary orbit at 36.000 kilometers

Sentinel 5

Monitors greenhouse gases, air quality, ozone concentrations and solar irradiation in the atmosphere from a polar orbit at 800 kilometers

Wissenschaftliche Erderkundung nach ENVISAT: Die Earth Explorer Missionen

Auch für die Weiterentwicklung des wissenschaftlichen Verständnisses unseres Planeten nach ENVISAT haben die Mitgliedstaaten der ESA gesorgt: Im Rahmen des Programms „Lebender Planet“ werden derzeit sechs auf einzelne Fragestellungen spezialisierte Missionen, die sogenannten Earth Explorer Satelliten, entwickelt.

Scientific Earth exploration after ENVISAT: The Earth Explorer missions

ESA's member states also took care to ensure that our scientific understanding of our planet develops further after ENVISAT: Under a program called 'Living Planet', six missions dedicated to specific issues, the so-called Earth Explorer satellites, are being developed at the moment.

Die Earth Explorer Missionen der ESA

ESA's Earth Explorer missions

GOCE

(Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer)

Die GOCE Mission wird mit bisher unerreichter Präzision das Schwerfeld der Erde und das sogenannte Geoid vermessen. Das Geoid gibt die Oberfläche eines hypothetischen ruhenden Ozeans an und dient als wichtiges Referenzniveau für die Topographie der realen Erdoberfläche. Eine genaue Vermessung des Geoids ist eine wichtige Grundlage für Studien der Dynamik des Erdinneren, der Ozeanzirkulation, der Änderung des Meeresspiegels und der polaren Eiskappen (Start: 2008).

SMOS

(Soil Moisture and Ocean Salinity)

Die SMOS Mission wird zum ersten Mal globale Karten der Bodenfeuchte und des Salzgehaltes der Ozeane liefern. Eine genauere Kenntnis dieser Größen hilft das Verständnis des globalen Wasserkreislaufs

und der Ozeanzirkulation zu erweitern und damit Vorhersagen des Klimas und des Wetters zu verbessern. (Start: 2009)

CryoSat-2

CryoSat-2 soll drei Jahre lang die Dicke der kontinentalen Eispanzer und die Ausdehnung der Ozean-Eisbedeckung vermessen. Dadurch kann der Zusammenhang zwischen Eismassen und der Erderwärmung untersucht werden. CryoSat-2 ist der Nachbau von CryoSat, der nach einem Fehlstart 2005 verloren ging. (Start: 2009)

ADM-Aeolus

(Atmospheric Dynamics Mission)

Ziel der ADM-Aeolus Mission ist es, höhenaufgelöste Messungen des Windfeldes zu liefern. Diese Daten können wesentlich zu einer Verbesserung der Wettervorhersage beitragen. Zusätzlich erlaubt die Mission Rückschlüsse auf den Staubgehalt der Atmosphäre. (Start: 2009)

Swarm

Swarm ist eine Konstellation von drei Satelliten, welche die bisher genaueste Vermessung des Erdmagnetfeldes und seiner zeitlichen Veränderung liefern soll. Daraus können neue Einblicke in die Komposition und Prozesse im Erdinneren und den Einfluss der Sonne auf die obere Atmosphäre gewonnen werden. (Start: 2010)

EarthCARE

(Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer)

EarthCARE ist eine Gemeinschaftsmission der ESA und der japanischen Raumfahrt-Agentur JAXA. Hauptziel ist, die Zusammenhänge und Wirkungen von Wolken und Aerosol-Partikeln auf den Strahlungshaushalt der Erde zu untersuchen. Die Erkenntnisse dienen einer verbesserten Abschätzung der Klimaentwicklung und der Wettervorhersage. (Start: 2013)

GOCE

(Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer)

Reaching a hitherto unattained level of precision, the GOCE mission will survey the Earth's gravity field and the so-called geoid. Representing the surface of a hypothetical ocean that is completely at rest, the geoid provides an important reference level for the topography of the real Earth surface. A precise survey of the geoid provides an important input for studying the dynamics of the Earth's interior, the circulation of the oceans, changes in the sea level and the polar icecaps. (launch: 2008)

SMOS

(Soil Moisture and Ocean Salinity)

For the first time ever, the SMOS mission will produce global maps showing the humidity of the soil and the salinity of the oceans. Knowing more about these factors will enhance our understanding

of the global water cycle and the circulation of the oceans, thus improving the standard of climate and weather forecasts. (Launch: 2009)

CryoSat-2

For three years, CryoSat-2 will be surveying the thickness of continental ice sheets and the spread of ice in the oceans, thus helping to study the interaction between ice masses and global warming. CryoSat-2 was built after the pattern of CryoSat which was lost in an abortive launch in 2005. (Launch: 2009)

ADM-Aeolus

(Atmospheric Dynamics Mission)

The ADM-Aeolus mission is intended to deliver altitude-resolved wind field measurements. These data may contribute a great deal towards improving weather forecasts. In addition, they will enable scientists to draw conclusions about the dust content of the atmosphere. (Launch: 2009)

Swarm

Swarm is a constellation of three satellites designed to supply the most precise measurements obtained so far of the Earth's magnetic field and its change over time. This information may yield insights into the composition of the Earth's interior, the processes there and the influence of the sun on the upper atmosphere. (Launch: 2010)

EarthCARE

(Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer)

The EarthCARE mission is a joint project of ESA and the Japanese space agency JAXA. Its key objective is to investigate the interaction between clouds and aerosol particles and the mechanisms by which they influence the Earth's radiation budget. The information gained will serve to improve climate development assessments and weather forecasts. (Launch: 2013)

Impressum *Imprint*

Herausgeber
Published by Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V.

German Aerospace Center

Raumfahrt-Agentur
Space Agency

Anschrift
Address Bonn
Königswinterer Straße 522-524
53227 Bonn
Germany

Redaktion
Editor Dr. Niklas Reinke

Textbeiträge
Text contributions Zu dieser Broschüre haben zahlreiche Autoren beigetragen,
unter anderem aus folgenden Instituten:

*This brochure features contributions by numerous authors
from institutions such as:*

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
Department für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München
Deutsches Fernerkundungs-Datenzentrum (DFD) des DLR, Oberpfaffenhofen
Deutsche Raumfahrtagentur, DLR, Bonn-Oberkassel
Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Forschungszentrum Karlsruhe
Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) des DLR, Oberpfaffenhofen
Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) des DLR, Oberpfaffenhofen
Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin
Institut für Umweltphysik, Universität Bremen
Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg
Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz
VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, München

Gestaltung
Design CD Werbeagentur GmbH,
Troisdorf

Druck
Printing Druckerei Thierbach KG,
Mülheim/Ruhr

Drucklegung
Press date Köln, Mai 2008

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige Verwendung
nur nach vorheriger Absprache mit dem DLR gestattet.

*Reproduction in whole or in part or any other use is
subject to prior permission from the German Aerospace Center DLR).*

www.DLR.de

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenwahrnehmung zuständig. Das DLR fungiert als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In 28 Instituten und Einrichtungen an den dreizehn Standorten Köln (Sitz des Vorstandes), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR ca. 5.600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

DLR at a Glance

DLR is Germany's national research center for aeronautics and space. Its extensive research and development work in Aeronautics, Space, Transportation and Energy is integrated into national and international cooperative ventures. As Germany's space agency, DLR has been given responsibility for the forward planning and the implementation of the German space program by the German federal government as well as for the international representation of German interests. Furthermore, Germany's largest project-management agency is also part of DLR.

Approximately 5,600 people are employed in DLR's 28 institutes and facilities at thirteen locations in Germany: Koeln (headquarters), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen and Weilheim. DLR also operates offices in Brussels, Paris, and Washington D.C.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

German Aerospace Center

**Raumfahrt-Agentur
Space Agency**

Bonn
Königswinterer Straße 522–524
53227 Bonn
Germany

www.DLR.de