

Fernerkundung für die biologische Ozeanografie – MOS-IRS und MERIS/ENVISAT

Summary

The Assessment of environmental state, detection and monitoring of changes in the environment has become an important issue for our society. Remote sensing using Earth observation satellites contributes essentially to this area, since it is the only technology that allows continuous sampling in space and time. Since mid of the 90ies new sensors are available allowing improved environmental monitoring as well as assessment of new state variables for biological oceanography. With the Modular Optoelectronic Scanner (MOS) the German Aerospace Centre DLR operates since March 1996 an imaging spectrometer on board the IRS-P3 satellite. The experiment was designed to provide data for the development of new algorithms to quantify biological and ecological parameters of coastal waters. The algorithms will be used operationally for the European environmental satellite ENVISAT.

Zusammenfassung

Die Erfassung des Zustandes sowie die Erkennung und Überwachung von Veränderungen unserer Umwelt ist zu einem entscheidenden Bestandteil gesellschaftlicher Daseinsvorsorge geworden. Die Fernerkundung durch Erdbeobachtungssatelliten leistet hierzu wesentliche Beiträge, da sie als einzige Technologie kontinuierliche und flächendeckende Beobachtungen ermöglicht. Seit Mitte der 90iger Jahre kommen Instrumente und Sensoren zum Einsatz, die eine bessere Bestimmung von Umweltparametern und die Ableitung neuer Zustandsgrößen ermöglichen. Mit dem Modularen Optoelektronischen Scanner (MOS), einem abbildenden Spektrometer auf dem indischen Fernerkundungssatelliten IRS-P3, betreibt das DLR seit 1996 ein Experiment zur Demonstration neuer Fernerkundungsverfahren für die Ozean-sondierung und zur Entwicklung neuer Auswerteverfahren für den biologisch-ökologischen Zustand von Küstengewässern. Die Daten werden außerdem zur Vorbereitung der Nutzung des europäischen Umweltsatelliten ENVISAT genutzt.

Das Experiment MOS - Ein Spektrometer für die Umwelt- und Meeresforschung

In den frühen 90er Jahren wurden am DLR-Institut für Weltraumsensorik in Berlin das abbildende Spektrometer MOS (Modularer Optoelektronischer Scanner) für den Weltraumeinsatz entwickelt, gebaut, qualifiziert und auf dem indischen Satelliten IRS-P3 zum Einsatz gebracht. Neben der Untersuchung bio-ökologischer Zustandsgrößen der Weltozeane und besonders der Küstengewässer, ihrer Bioproduktivität und Verschmutzung, liefert es Daten über den Trübungszustand der Erdatmosphäre, Aerosolbelastungen in der Stratosphäre und die Höhe von Wolkenobergrenzen. Gemeinsam mit den Messungen der biologischen Aktivität des Phytoplanktons im Ozean stehen damit wichtige Daten für die Umweltforschung zur Verfügung. Das Instrument arbeitet seit März 1996 im Erdorbit.

MOS arbeitet nach dem Prinzip des abbildenden Spektrometers, bei dem das von der Erdoberfläche reflektierte Sonnenlicht über ein optisches Gitter spektral zerlegt wird. In den Messkanälen werden geometrisch identische Bilder bei verschiedenen Wellenlängen (Farben) des Lichtes erzeugt. Durch CCD-Sensoren werden die optischen in elektrische Signale umgewandelt, danach aufbereitet und zur Erde gesendet. Mit diesem Funktionsprinzip lassen sich höhere spektrale Auflösungen als mit klassischen Multispektralkameras erreichen. Das MOS-Gerät besteht aus zwei Spektrometer-Modulen, die im sichtbaren und nahen Infrarot arbeiten (MOS-A für Atmosphärenmessungen und MOS-B für die Ozeanfernerkundung) und einer CCD-Kamera MOS-C mit einem Kanal im kurzwelligen Infrarotbereich.

Die Geräte wurden auf der Basis von Erkenntnissen und neuen Ideen über Fernerkundungsmessmethoden und Algorithmen konzipiert, unter anderem zur Ableitung von Zustands- und Stoffparametern bei der Sondierung des gekoppelten Systems Ozean-Atmosphäre. Die wesentlichsten Parameter dabei waren die Zahl der Messkanäle und ihre spektrale Bandbreite sowie ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis und die Langzeitkonstanz der Messwerte.

Die optische Fernerkundung nutzt das aus dem Wasserkörper remittierte Sonnenlicht, dessen Farbzusammensetzung durch Streu- und Absorptionsprozesse des Wassers und darin enthaltener Stoffe beeinflusst wird („Ocean Colour“). Die Vermessung des Spektrums erlaubt dann Rückschlüsse über Art und Konzentration der Wasserinhaltsstoffe. In den offenen Ozeanen sind das im wesentlichen das Phytoplankton und kovariierende Substanzen. Komplizierter verhält es sich in Küstengewässern: hier treten in der Regel mehrere verschiedene Inhaltsstoffe gleichzeitig auf und die Konzentrationen und Variationsbereiche sind wesentlich größer als im offenen Ozean. Nicht alle Inhaltsstoffe sind der Fernerkundung zugänglich. Für optische Messungen sind dies im wesentlichen: Phytoplankton, charakterisiert an Hand des Chlorophyllgehalts, suspendierte anorganische Materialien, beschrieben durch ihre Streueigenschaften und gelöste organische Substanzen (Gelbstoff), charakterisiert durch ihr Absorptionsverhalten. Die Schwierigkeit für die Fernerkundung ergibt sich nun daraus, dass diese Stoffe das Spektrum relativ breitbandig beeinflussen und alle gleichzeitig im gleichen Spektralbereich wirken (auf Grund der Lichtabsorption durch reines Wasser kann nur der Bereich von etwa 400 nm - 700 nm fernerkundlich genutzt werden). Daher sind spezielle Inversionsverfahren zur Trennung der Einzelkomponenten erforderlich.

Moderne Auswerteverfahren nutzen sogenannte bio-optische Modelle, die eine mathematisch-physikalische Beschreibung der Wasserfarbe in Abhängigkeit von den Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrien sowie von Art und Konzentration der verschiedenen Inhaltsstoffe erlauben. Mittels spezieller Inversionsverfahren lassen sich aus diesen Modellen Algorithmen zur Quantifizierung von Wasserinhaltsstoffen aus den Fernerkundungsdaten ableiten. Darüber hinaus müssen die Auswertelgorithmen die Lichtstreuung in der Atmosphäre berücksichtigen. Sie erzeugt am Satelliten den größten Signalanteil, da das aus dem Wasserkörper remittierte Licht nur geringe Signale liefert. Neben der Wirkung als Störterm erlaubt das aus der Atmosphäre zurückgestreute Licht aber auch Aussagen über den Gehalt an Aerosolen sowie deren Größen- und Höhenverteilung. Diese Parameter, die bei der Ableitung von Wasserinhaltsstoffen als Nebenprodukte entstehen, sind wiederum wichtige Größen zur Beschreibung des Strahlungshaushaltes in der Erdatmosphäre.

Die Quantifizierung von Wasserinhaltsstoffen und Aerosolparametern über Küstengewässern erfordert spektral hochaufgelöste Fernerkundungsdaten um die Trennung der verschiedenen im Signal wirkenden Komponenten an Hand ihrer Streu- und Absorptionseigenschaften zu ermöglichen. Mit dem MOS-Sensor, der das erste abbildende Spektrometer im Satellitenorbit war, standen solche Daten erstmals zur experimentellen Entwicklung und Validierung qualitativ neuer Auswertelgorithmen zur Verfügung. Die Anzahl und Lage der Spektralkanäle des Instrumentes sind speziell für diese Verfahren und Anwendungen optimiert worden. Im Ergebnis konnten erstmals ausgewertete Satellitendaten für optisch komplexe Küstengewässer bereitgestellt werden, die Richtigkeit des methodischen und technologischen Konzeptes wurde nachgewiesen. Die Erkenntnisse und Algorithmen können nunmehr auf das MERIS-Instrument (Medium Resolution Imaging Spectrometer) des europäischen Umweltsatelliten ENVISAT für die prä-operationelle Forschung und Nutzung übertragen werden. Bei der Entwicklung dieser Verfahren arbeitet das DLR intensiv mit anderen Forschungseinrichtungen zusammen, wie z.B. dem Institut für Ostseeforschung oder dem Institut für Küstenerforschung der GKSS.

Großes internationales Interesse

Mit dem Start von MOS endete eine lange Wartezeit für die internationale Forschungsgemeinschaft: zehn Jahre waren seit der Abschaltung des NASA-Satelliten CZCS (Coastal Zone Color Scanner) vergangen. Zehn Jahre, in denen keine Satellitendaten der Ozeanfarbe zur Verfügung standen. Die MOS-Daten, die an vier Empfangsstationen empfangen und aufbereitet werden, wurden bisher von über 100 Wissenschaftlern aus 20 Ländern in verschiedenen Forschungsvorhaben und Anwendungen genutzt. Sie stehen für wissenschaftliche Arbeiten kostenfrei am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum DFD des DLR zur Verfügung. Die Empfangsbereiche der Bodenstationen (Hyderabad-Indien; Neustrelitz-DLR; Maspalomas-ESA; Wallops Island-NASA) decken sämtliche europäische Gewässer, das Mittelmeer, Nord-Ost-Atlantik, US-Ostküste und Golf von Mexiko ab.

In den letzten Jahren wurden weitere Instrumente auf Satelliten zur Untersuchung der Ozeanfarbe gestartet, so von der japanischen NASDA, der NASA und der indischen Raumfahrtorganisation ISRO. Vor diesem Hintergrund wurde von der NASA das SIMBIOS-Programm initiiert (Sensor Intercomparison and Merger for Biological and Interdisciplinary Ocean Studies). Damit sollen alle Daten der verschiedenen Satelliten einer synergetischen Nutzung zur Verbesserung des globalen und regionalen Verständnisses der Weltozeane zugeführt werden. In diesem Programm spielt MOS eine wichtige Rolle - als einziges Instrument hat es gleichzeitig mit allen anderen Missionen Daten aufgenommen und stellt somit die Brücke zur Zusammenführung der Messungen dar. Dies wird ermöglicht durch die nachgewiesene hohe Langzeitstabilität des MOS-Sensors. Ziel des NASA-Programms ist die Ableitung eines globalen Langzeit-Datensatzes ab 1996 über den biologischen Zustand der Ozeane mit dessen Hilfe ihre Rolle im Kohlenstoff-Zyklus quantifiziert werden soll.

Der europäische Umweltsatellit ENVISAT

MOS-IRS ist ein wissenschaftliches Experiment, das der Erprobung neuer Technologien und der Entwicklung neuer Auswerteverfahren für die Ozean-Fernerkundung dient. Auf Grund seiner geringen Streifenbreite von 200 km erlaubt es im Durchschnitt ca. alle 2 Wochen eine Aufnahme eines Gebietes auf der Erdoberfläche. Während dies für die Methodenentwicklung und Fallstudien ausreichend ist, wird es den Anforderungen an eine Überwachung der hohen zeitlichen und räumlichen Dynamik nicht gerecht. Diese Aufgabe soll von dem europäischen Umweltsatelliten ENVISAT übernommen werden.

ENVISAT wurde von der ESA im März 2002 gestartet. Dieser sehr komplexe Satellit trägt eine Vielzahl von Erdbeobachtungsinstrumenten, die eine umfassende Beobachtung wesentlicher Prozesse und Wechselwirkungen in der Atmosphäre, auf der Landoberfläche und in den Ozeanen ermöglichen. Für die biologische Ozeanografie dient das abbildende Spektrometer MERIS. Das Instrument ist bezüglich seiner Spektralkanäle und räumlichen Auflösung dem MOS sehr ähnlich, jedoch zur Erreichung einer globalen Abdeckung und kürzeren Wiederholrate für eine Streifenbreite von rund 1200 km ausgelegt. Auf Grund der fast identischen spektralen Charakteristika konnten bereits vor dem Start von ENVISAT MOS-Daten benutzt werden, um MERIS-Auswertelgorithmen zu entwickeln und an Hand experimenteller Daten zu testen. Damit dient MOS als sogenanntes Precursor-Instrument für MERIS. Eine Vielzahl von MERIS-Datenprodukten und -Algorithmen wurden bei der ESA mit einem „MERIS-Simulator“ getestet, der aus realen MOS-Daten Szenen analog der erwarteten Aufnahmen von MERIS synthetisiert. MERIS wird eine Reihe von Parametern für die Ozeanbeobachtung routinemäßig und mit globaler Abdeckung liefern. Die wesentlichen sind Chlorophyllgehalt, suspendiertes Material und Gelbstoff. Damit wird, vor allem für Küstengewässer, eine völlig neue Qualität von Daten bereitstehen.

Eine Schwierigkeit bei der Fernerkundung von Küstengewässern ist, dass sich die Zusammensetzung der Phytoplankton-Spezies und damit auch deren spezifische optische Eigenschaften regional und/oder saisonal stark unterscheiden können. Aus diesem Grunde wurden in Deutschland im Rahmen eines Verbundprojektes von GKSS, FU Berlin und DLR spezielle Modelle und Algorithmen entwickelt, die diese Spezifika berücksichtigen. Die Verfahren wurden in einem speziellen MERIS-Prozessierungssystem implementiert, das mit Beginn der regulären Nutzungsphase von ENVISAT ab Anfang 2003 höherveredelte Datenprodukte in voller geometrischer Auflösung bereitstellen soll. Dazu zählen u.a. Wasserinhaltsstoff-Karten für Nord- und Ostsee sowie den Bodensee alle 2 Tage, sowie Wochen-, Monats- und Saisonmittelwerte der Parameter. Die ausgewerteten Daten stehen am DFD für nicht-kommerzielle Anwendungen entsprechend der ESA-Datenpolitik kostenfrei zur Verfügung.

Beispiele

Wie bereits dargestellt, ist in küstennahen Gewässern das gleichzeitige Auftreten verschiedener Wasserinhaltsstoffe typisch. Abbildung 1 zeigt die aus MOS-Daten abgeleiteten Parameter im Skagerrak (Land/Wolken weiß markiert) für den 26. März 2002. Ungewöhnlich hier die völlig unterschiedliche Verteilung der Inhaltsstoffe. Gleichzeitig demonstriert die Bildfolge eindrucksvoll, wie gut die Trennung zwischen streuenden und absorbierenden Komponenten im Wasser sowie der Atmosphäre gelingt. Abbildung 2 zeigt zwei typische Blaualgenblüten in der südlichen Ostsee (Juni 2001, links) und der Gotlandsee (Juli 2002, rechts) an Hand der abgeleiteten Schwebstoffverteilung.

Literatur

Zimmermann, G. & Neumann, A. (2000) The Imaging Spectrometer Experiment MOS on IRS-P3 – Three Years of Experiences – Journal of Spacecraft Technology 1 (10), 1-10

Andreas Neumann

*(Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
Institut für Methodik der Fernerkundung Berlin, Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin)*

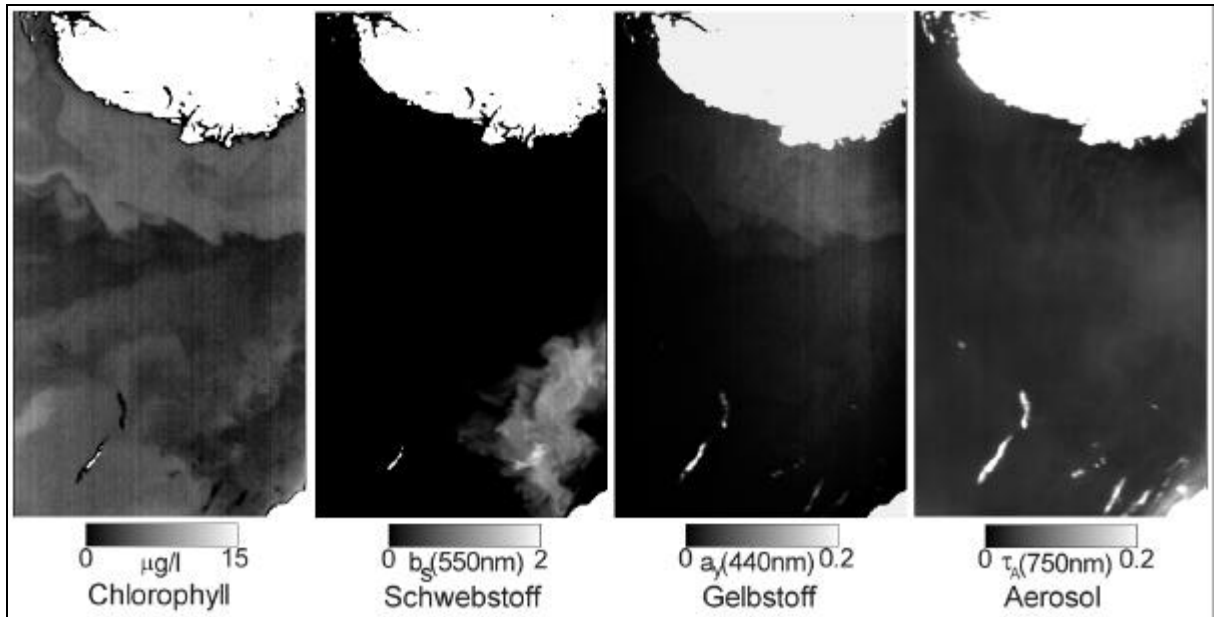


Abbildung 1

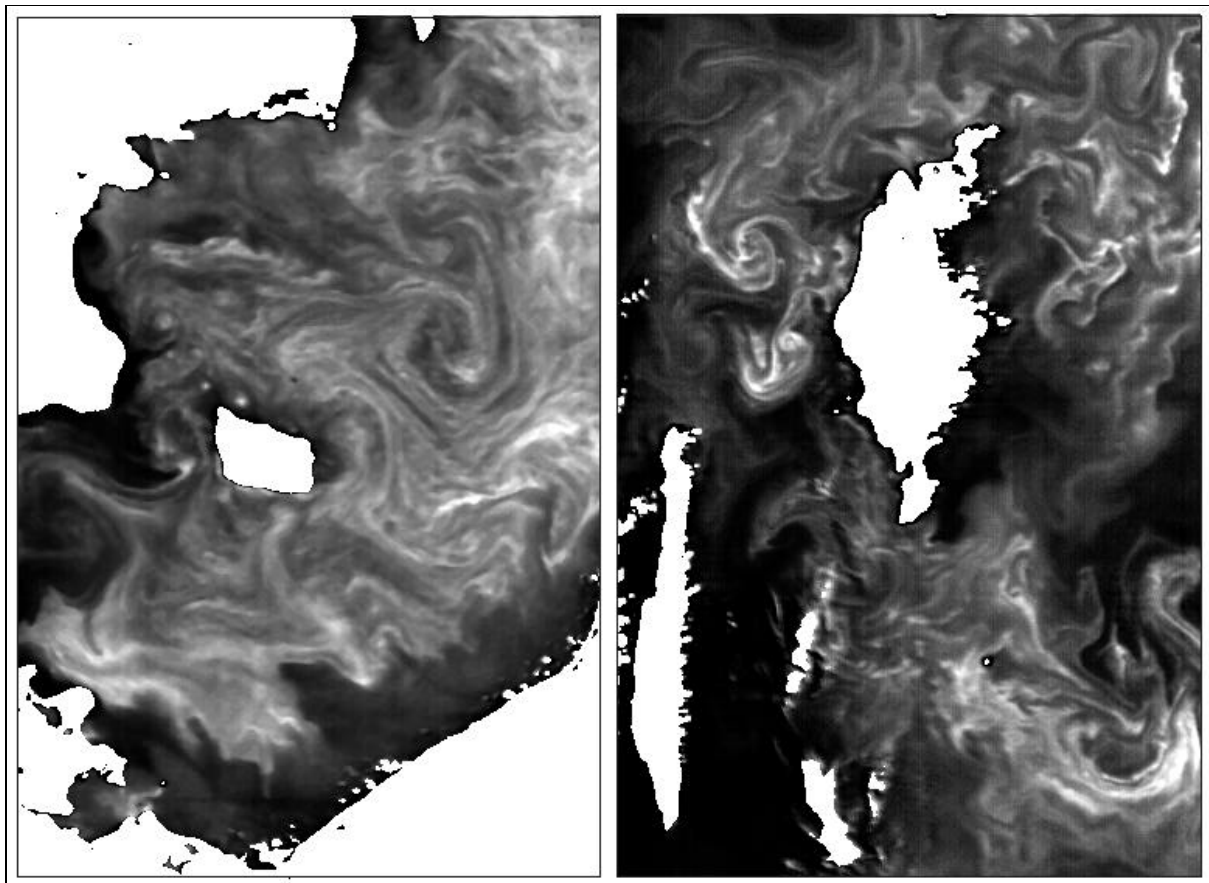


Abbildung 2