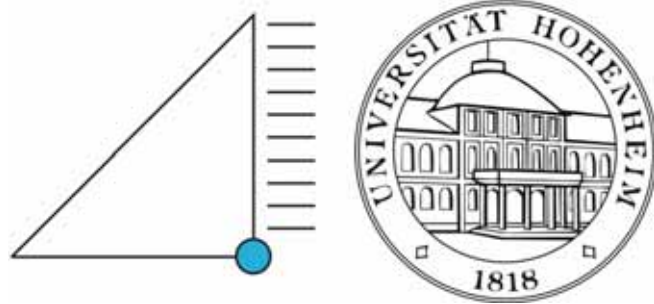


Universität Hohenheim  
Institut für Betriebswirtschaftslehre  
Fachgebiet Umweltmanagement



## **Envisat – Was können Umweltsatelliten leisten?**

Im Rahmen des Seminars Angewandtes Umweltmanagement  
Eingereicht am Fachgebiet Umweltmanagement  
Prof. Dr. Werner F. Schulz

von :

cand. geogr. Tobias Spaltenberger

Matrikelnr.: 2199074

Wilhelmstr. 165

72074 Tübingen

Tel.: 07071-300022

tsp@gmx.de

11. Fachsemester

Abgabetag: 10.06.2005

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	II
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen der Fernerkundung .....	1
2.1 Was ist Fernerkundung?.....	1
2.2 Eine kurze Geschichte der Fernerkundung .....	2
2.3 Bedeutung der Satellitenfernerkundung heute .....	3
2.4 Grenzen der Fernerkundung .....	4
3 Envisat.....	5
3.1 Technische Daten.....	6
3.1.1 Das Raumsegment .....	7
3.1.2 Das Bodensegment .....	7
3.2 Kosten und Einnahmequellen.....	8
3.3 Aufgaben und Möglichkeiten der Instrumente an Bord von Envisat .....	9
3.3.1 Instrumente zur Beobachtung der Land- und Meeresoberfläche.....	9
3.3.1.1 ASAR: Advanced Synthetic Aperture Radar .....	9
3.3.1.2 RA-2: Radar Altimeter 2 .....	10
3.3.1.3 MERIS: Medium Resolution Imaging Spectrometer.....	11
3.3.1.4 AATSR: Advanced Along Track Scanning Radiometer.....	11
3.3.2 Instrumente zur Beobachtung der Atmosphäre .....	11
3.3.2.1 MIPAS: Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding .....	11
3.3.2.2 GOMOS: Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars	12
3.4 Aktuelle Projekte und Anwendungen.....	12
3.4.1 Kartierung von Waldbrandschäden.....	12
3.4.2 Implementierung und Überwachung des Kioto-Protokolls .....	13
3.4.3 Monitoring von Umweltverschmutzungen .....	13
3.4.4 Überschwemmungsmonitoring .....	14
4 Ausblick und Fazit .....	14
Literaturverzeichnis .....	V

## Abkürzungsverzeichnis

AATSR	Advanced Along Track Scanning Radiometer
ASAR	Advanced Synthetic Aperture RADAR
DORIS	Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite
ENSO	El Niño Southern Oscillation
ERS	European Remote Sensing Satellite
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
ESA	European Space Agency
ESOC	ESA Spacecraft Operations Centre
ESRIN	European Space Research Institute (Frascati/Italien)
FOCC	Flight Operations Control Centre
FOS	Flight Operation Segment
Gbit	Gigabit
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GOME	Global Ozone Monitoring Experiment
GOMOS	Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars
GSE	GMES Service Element
LRR	Laser Retro-Reflector
Mbps	Megabit pro Sekunde
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MIPAS	Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding
MWR	Microwave Radiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PDCC	Payload Data Control Centre
PDS	Payload Data Segment
RA-2	Radar Altimeter 2
RADAR	Radio Detection and Ranging
SAR	Synthetic Aperture RADAR
SCIAMACHY	Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography
SPOT	Système Probatoire de la Observation de la Terre
TIROS	Television Infrared Observation Satellite

# 1 Einleitung

Seit Anfang 2002 betreibt die Europäische Raumfahrtagentur ESA mit Envisat den weltweit fortschrittlichsten Satelliten zur Erforschung der Erde. Er soll umweltrelevante Phänomene beobachten und zum Verständnis des Systems Erde und seiner Teilbereiche beitragen. Im Rahmen dieser Arbeit sollen zunächst grundlegende Fragen geklärt werden: Was ist Fernerkundung, wo liegen ihre Wurzeln und wo sind ihre Grenzen? Darauf aufbauend werden die spezifischen Eigenschaften, Fähigkeiten und Anwendungen von Envisat dargestellt und ein Ausblick auf die kommenden Entwicklungen im Bereich der europäischen Umweltfernerkundung gegeben.

## 2 Grundlagen der Fernerkundung

### 2.1 Was ist Fernerkundung?

Fernerkundung ist nach LILLESAND & KIEFER die Wissenschaft, Informationen über ein Objekt, ein Gebiet oder ein Phänomen mittels eines Geräts zu erhalten, das nicht mit dem zu untersuchenden Objekt, Gebiet oder Phänomen in Kontakt steht<sup>1</sup>.

ALBERTZ schränkt diese relativ umfassende Definition ein, indem er als Fernerkundung nur solche Verfahren bezeichnet,

- die zur Informationsgewinnung vom zu untersuchenden Objekt abgestrahlte elektromagnetische Strahlung verwenden,
- deren Empfangseinrichtung für elektromagnetische Strahlung sich an Bord von Luft- oder Raumfahrzeugen befindet,
- die der Beobachtung der Erdoberfläche und den darauf befindlichen Objekten, der Atmosphäre oder der Meeresoberfläche dienen.<sup>2</sup>

Jedes Fernerkundungssystem besteht aus drei grundlegenden Bestandteilen: Datenaufnahme, Datenspeicherung und Datenauswertung. Während der Datenaufnahme wird die vom Untersuchungsobjekt abgestrahlte elektromagnetische Strahlung von einem Sensor gemessen und in Bilddaten umgewandelt. Bei den Aufnahmesystemen unterscheidet man zwischen passiven und aktiven Systemen. Während passive Systeme ausschließlich die in der Natur vorhandene elektromagnetische Strahlung, z.B. die durch die Erdoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung verwenden, enthalten aktive Systeme eine Strahlungsquelle, deren Strahlung vom Gelände reflektiert und vom Sensor aufgezeichnet wird – dieses Prinzip findet zum Beispiel bei Radar-Systemen

---

<sup>1</sup> LILLESAND & KIEFER (2000), S. 1.

<sup>2</sup> ALBERTZ (2001), S. 1.

seinen Einsatz. Da es sich bei den ersten Fernerkundungssystemen um optische, analoge Kameras handelte, erfolgte die Messung der elektromagnetischen Strahlung durch die Belichtung einer lichtempfindlichen photographischen Schicht auf einem Trägermaterial (Film). Der Vorteil dieses Prinzips, die platz sparende Kombination von Sensor und Speichermedium, relativierte sich mit Beginn des Computerzeitalters, da eine Weiterverarbeitung der Daten im Computer eine aufwändige, relativ ungenaue und fehlerträchtige Analog-Digital-Wandlung (Scan) sowie zusätzliche Nachbereitungsschritte erforderte. Aus diesem Grund werden in heutigen Fernerkundungssystemen fast ausschließlich digitale Sensoren eingesetzt, bei denen prinzipbedingt die Wandlung von analogen Daten (gemessene Strahlung) in digitale Daten (gespeicherte Werte) bereits bei der Messung erfolgt.

Im Zuge der Datenspeicherung werden die erfassten Bilddaten auf ein Speichermedium übertragen. Handelte es sich in den Anfangszeiten der Fernerkundung beim Speichermedium ausschließlich um photographisches Filmmaterial, erfolgt heutzutage die Speicherung der Daten im Normalfall auf digitalen Speichermedien.

Im dritten Schritt, der Auswertung, werden die gespeicherten Bilddaten durch Interpretation in Informationen umgewandelt. Eine fachgerechte Interpretation setzt voraus, dass der Bearbeiter Kenntnis über die Entstehung und die speziellen Eigenschaften der Daten hat und auch das fachliche Wissen besitzt, die Interpretation der Daten für eine bestimmte Anwendung korrekt durchzuführen.<sup>3</sup>

## **2.2 Eine kurze Geschichte der Fernerkundung**

Das erste bekannte „Luftbild“ der Geschichte nimmt 1858 der französische Photograph G.F. Tournachon aus einem Ballon über Paris auf. In den folgenden Jahren werden viele Experimente unternommen, die als Vorläufer der modernen Fernerkundung gesehen werden können. Aber erst Anfang des 20. Jahrhunderts, mit der Entwicklung des Flugzeugs, entwickelt sich aus einer technischen Spielerei eine praktische Anwendung. Mit Beginn des Ersten Weltkriegs, als Luftbilder zu militärischen Aufklärung eingesetzt werden, gewinnt die Luftbildaufnahme an Bedeutung. In der Zeit nach dem Ersten Weltkrieg wird die Technik immer ausgereifter und erfährt während des Zweiten Weltkriegs intensive Verwendung. Als in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts neben den klassischen photographischen Aufnahmesystemen auch andere Aufnahmetechniken wie Radar an Bedeutung gewinnen, entwickelt sich aus dem Luftbildwesen die Fernerkundung als eigenständige wissenschaftliche Disziplin. Standen bis dahin technische Entwicklung und militärische Interessen im Vordergrund, gewinnen nun auch

---

<sup>3</sup> ALBERTZ (2001), S. 2f., 9, 26f.

thematische (geowissenschaftliche und meteorologische) Fragestellungen an Gewicht.<sup>4</sup>

Der Wettersatellit TIROS-I, gestartet im Jahre 1960, läutet das Zeitalter der Satellitenfernerkundung ein: zum ersten Mal in der Geschichte findet eine systematische Beobachtung der Erde aus dem All statt. Von nun an verläuft die Entwicklung der Satellitenfernerkundung in großen Schritten:

- 1972 startet das Landsat-Programm mit ERTS-1 den ersten Satelliten, der in der Lage ist, systematisch und regelmäßig Bilder von der Erdoberfläche zu liefern. Die Landsat-Serie ist die am längsten währende Satelliten-Fernerkundungs-Mission. Seit 1999 ist der siebte Satellit der Serie, Landsat 7, in Betrieb. Aufgrund einer technischen Störung liefert er jedoch seit Mai 2003 nur noch Daten in verminderter Qualität.
- 1977 startet Meteosat 1, der erste einer langen Serie von europäischen Wettersatelliten.
- 1986 startet der französische Satellit SPOT, mit dessen Hilfe die ersten stereophotogrammetrisch auswertbaren Bilddaten der Erde aufgenommen werden können.
- 1991 startet ERS-1, der erste Fernerkundungssatellit der ESA (vgl. Kapitel 3).
- 1995 startet mit OrbView-1 der erste kommerzielle Fernerkundungssatellit, der bis zum Jahr 2000 Wetterdaten liefert.<sup>5</sup>

Diese Liste ließe sich noch weiter fortsetzen. Generell ist jedoch festzustellen, dass in den letzten Jahren zum einen die Zahl der verfügbaren wissenschaftlichen und kommerziellen Satellitenfernerkundungsprodukte stark angewachsen ist, zum anderen aber auch der technische Fortschritt neue Möglichkeiten geschaffen hat: heute stehen Daten zu annehmbaren Preisen in einer Qualität zur Verfügung, die vor wenigen Jahren (zumindest bei zivilen Anwendungen) technisch noch nicht machbar war. Neue Aufnahmesysteme bieten neue Einblicke in das System Erde und können die mit bestehenden Aufnahmesystemen gesammelten Daten ergänzen und verbessern.

### **2.3 Bedeutung der Satellitenfernerkundung heute**

VON GADOW konstatiert: „Umweltpolitik benötigt zuverlässige Informationen über den Zustand und die Entwicklung der Umweltsituation, um rechtzeitig Fehlentwicklungen erkennen und angemessen darauf reagieren zu können“<sup>6</sup>. Messinstrumente am Boden können zwar zuverlässige Daten zu geringen Kosten liefern, ihr Einsatzgebiet ist jedoch räumlich häufig sehr stark begrenzt. Der Einsatz der Satellitenfernerkundung er-

---

<sup>4</sup> ALBERTZ (2001), S. 3ff.

<sup>5</sup> THIEL (2002), S. 4f.

<sup>6</sup> VON GADOW (1995), S. 13.

laubt dagegen die Untersuchung der Erdoberfläche mit nur einem Gerät, das flächendeckende, kontinuierliche und zuverlässige Daten liefert. Dadurch bietet die Satellitenfernerkundung ein breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten für Umweltforschung und -politik, z.B. zur Unterstützung von Umweltberichterstattung und Katastrophenvorsorge. Durch Bestimmung und Überwachung von Zustandsindikatoren kann die Satellitenfernerkundung einen Beitrag zur Umsetzung und Kontrolle umweltpolitischer Maßnahmen leisten. So kann die Satellitenfernerkundung z.B. im Bereich der Landnutzungs-/Habitat- und Biotop-Kartierung konventionelle Verfahren ersetzen, da die automatischen Klassifizierungsverfahren ausgereift sind und die Satellitenfernerkundung in diesem Fall gegenüber konventionellen Verfahren einen klaren Kostenvorteil bietet.<sup>7</sup>

Aber auch im Bereich der Katastrophenprävention können Fernerkundungssatelliten einen Beitrag leisten: für die Kartierung von Risikogebieten, zur Vorhersage und Verfolgung von Naturkatastrophen sowie bei Koordinierung der Katastrophenhilfe. Diese Informationen können im Katastrophenfall Leben retten und haben darüber hinaus eine nicht zu unterschätzende ökonomische Dimension: Allein für die Hurrikanserie 2004 im Atlantik beziffert die MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT den volkswirtschaftlichen Schaden auf ca. 62 Mio. US\$, von denen knapp die Hälfte von der Versicherungswirtschaft getragen werden mussten.<sup>8</sup> Eine zeitnahe Bereitstellung von Satellitendaten mit Informationen über die Zugbahnen von Wirbelstürmen und potentiell betroffene Gebiete kann durch rechtzeitig eingeleitete Vorsorge- und Evakuierungsmaßnahmen helfen, diese Schäden zu mindern. Aber nur, wenn die aus diesen Informationen gewonnenen Kenntnisse über das System Erde auch in langfristige umweltpolitische Maßnahmen einfließen, kann die Satellitenfernerkundung ihr volles Potential ausspielen. Aus diesem Grund fordern BACKHAUS & GRUNWALD, „die Fernerkundung nicht nur als Mittel der Informationsbeschaffung zu optimieren – etwa durch immer größere raumzeitliche und spektrale Auflösung der Sensoren –, sondern sie auch in den Kontext umweltpolitischer Maßnahmen und umweltstrategischer Ziele zu integrieren.“<sup>9</sup>

## 2.4 Grenzen der Fernerkundung

Trotz ihrer vielfältigen Möglichkeiten sind auch der Fernerkundung Grenzen gesetzt. ALBERTZ identifiziert drei entscheidende limitierende Faktoren<sup>10</sup>:

---

<sup>7</sup> VON GADOW (1995), S. 13, 23.

<sup>8</sup> MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT (2005), S. 37.

<sup>9</sup> BACKHAUS & GRUNWALD (1995), S. 5.

<sup>10</sup> ALBERTZ (2001), S. 226f.

**Kosten:** Entwicklung, Bau und Betrieb von Fernerkundungssatelliten sind kostenintensiv, was in Zeiten knapper Staatskassen die Finanzierung der Projekte durch die meist staatlichen bzw. zwischenstaatlichen Trägerorganisationen erschwert. Die Kosten haben aber auch einen direkten Einfluss auf die Preisgestaltung der Datenprodukte: Vor allem bei kommerziellen Anwendern können zu hohe Kosten dazu führen, dass Daten mit alternativen Methoden erhoben werden oder vollständig auf sie verzichtet wird.

**Grenzen der Methodik:** Die Fernerkundung ist eine Methode zur Messung von Gegebenheiten und zur Beobachtung von Veränderungen, sie bietet aber keine Maßstäbe zur Bewertung dieser Informationen. Man kann mittels Fernerkundungsdaten zwar feststellen, ob und in welchem Umfang ein Wald gerodet wurde, jedoch ist es nicht möglich, eine Aussage darüber zu treffen, ob diese Rodung ökologisch sinnvoll ist oder nicht. Hinzu kommt, dass sich prinzipbedingt nur Phänomene an oder in nächster Nähe der Erdoberfläche direkt beobachten lassen. Zwar lassen sich auch zu nicht direkt beobachtbaren Phänomenen Aussagen treffen, dies erfordert jedoch einen Zwischenschritt über einen direkt beobachtbaren Indikator. Da die Zusammenhänge zwischen Indikator und Phänomen jedoch nicht immer eindeutig sind, bedeutet dies eine Unsicherheit in der Analyse.

**Praktische Schwierigkeiten:** Die Auswertung und vor allem die sachgemäße Interpretation von Fernerkundungsdaten erfordert ein nicht zu vernachlässigendes Maß an Fachwissen und praktischer Erfahrung. ALBERTZ formuliert dies wie folgt: „Nicht hoch genug einzuschätzen ist die praktische Geländeerfahrung von Geologen, Geographen, Forstleuten usw., durch welche die technisch-methodischen Möglichkeiten [der Fernerkundung] erst voll zur Geltung kommen können.“<sup>11</sup>

### 3 Envisat

Vor 30 Jahren, am 31.5.1975, wird die Europäische Weltraumorganisation ESA von den ursprünglich zehn (heute 15) Mitgliedsstaaten gegründet. Ihre Hauptaufgaben sind die Entwicklung von Raumtransportsystemen (Ariane-Serie) und von satellitengestützten Telekommunikationssystemen, die Erforschung des Weltraums und die meteorologische Beobachtung der Erde (Meteosat-Serie)<sup>12</sup>. Ende der 80er Jahre wird der bis dahin auf den meteorologischen Bereich beschränkte Aufgabenkomplex der Erdbeobachtung erweitert: 1988 stellt die ESA ihren Mitgliedsstaaten eine neue, umfassende Strategie zur Erdbeobachtung vor, mit deren Hilfe umweltrelevante Phänomene unter-

---

<sup>11</sup> ALBERTZ (2001), S. 226.

<sup>12</sup> ESA (2005a).



sucht und überwacht und die europäischen Staaten in ihren umweltpolitischen Entscheidungsfindungsprozessen unterstützen werden sollen. Darüber hinaus sollen die bestehenden meteorologischen Beobachtungen fortgesetzt und verbessert werden.<sup>13</sup>

Dieser Strategie folgend wird 1991 der erste Fernerkundungssatellit der ESA, ERS-1 (European Remote Sensing Satellite 1), gestartet. Während seiner neunjährigen Betriebsdauer sammelt ERS-1 mit den sechs Instrumenten an Bord Informationen unter anderem zu Meeresoberflächentemperaturen, Meeresströmungen, Wellenstrukturen, Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen. 1995 wird der nahezu baugleiche Nachfolger ERS-2 in den Weltraum gebracht, der auch heute noch, zehn Jahre nach seinem Start, in Betrieb ist. Er liefert zusätzlich zu den von ERS-1 gesammelten Informationen mit dem Instrument GOME Daten über die Verteilung von atmosphärischem Ozon und anderen Spurengasen<sup>14</sup>.

In einem weitergehenden Schritt wird in zwei Ratssitzungen der ESA, 1991 in München und 1992 in Granada, der Grundstein zweier Programme gelegt: zum einen für MetOp (geplanter Start: 2006), einer vorrangig meteorologischen Mission für den operationalen Einsatz, zum anderen für die Envisat-Mission.<sup>15</sup> Diese soll sowohl die Aufgaben der ERS-Satelliten fortsetzen, um einen kontinuierlichen Datenbestand über einen langen Zeitraum aufzubauen, als auch neue Phänomene erforschen und neue Einsichten in das System Erde liefern.

Nachdem der Start der Mission ursprünglich auf Herbst 2001 festgesetzt wurde, muss er aufgrund von Schwierigkeiten mit dem Ariane-5-Trägersystem um mehrere Monate verschoben werden. Der erfolgreiche Start der Ariane-5-Rakete vom Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana am 1. März 2002 befördert mit Envisat nicht nur den mit rund 2 Mrd. Euro Kosten teuersten, sondern mit über acht Tonnen Startgewicht auch gleichzeitig den schwersten Satelliten der ESA in eine Umlaufbahn 800 km über der Erdoberfläche.<sup>16</sup> Im Laufe der folgenden sechs Monate werden die Instrumente an Bord von Envisat erfolgreich in Betrieb genommen und kalibriert.

### **3.1 Technische Daten**

Das Envisat-Projekt der ESA besteht aus zwei Hauptsegmenten, die zur Erfassung, Weiterverarbeitung und Distribution der Daten notwendig sind: das Raumsegment und das Bodensegment.

---

<sup>13</sup> VAUGHAN & WILSON (2001), S. 242.

<sup>14</sup> LILLESAND & KIEFER (2000), S. 677f.

<sup>15</sup> VAUGHAN & WILSON (2001), S. 242.

<sup>16</sup> ESA (2001a).

### 3.1.1 Das Raumsegment

Das Raumsegment der Envisat-Mission, der Satellit, besteht aus zwei Teilen: Das Service-Modul enthält den Antrieb und die Steuerung zur Lagekorrektur sowie die Stromversorgung des Satelliten. Aus Gründen der Kostenersparnis und der Zuverlässigkeit wurde bei der Entwicklung des Service-Moduls größtenteils auf die im SPOT-4-Programm eingesetzte Technologie zurückgegriffen, die für ihren Einsatz bei der Envisat-Mission erweitert und verbessert wurde.<sup>17</sup>

Das Nutzlast-Modul ist der Träger der wissenschaftlichen Instrumente, auf die im Kapitel 3.4 näher eingegangen wird. Darüber hinaus beherbergt das Nutzlast-Modul die Infrastruktur zu Datenübertragung und -speicherung der mit den Instrumenten gesammelten Daten. Die Datenübertragung wird im Normalfall auf zwei Übertragungswege aufgeteilt: ein Teil der Daten wird direkt über zwei 100 Mbps-Verbindungen an die Bodenstation in Kiruna/Schweden übertragen, die restlichen Daten werden ebenfalls mit zwei 100 Mbps-Verbindungen über die Relaisfunktion des ESA-Nachrichtensatelliten Artemis an die Bodenstation ESRIN (Frascati/Italien) gesendet. Zur Datenspeicherung steht insgesamt eine Datenkapazität von 170 GBit zur Verfügung, die dann verwendet wird, wenn eine direkte Kommunikation mit den Bodenstationen nicht möglich ist.<sup>18</sup>

Envisat bewegt sich in etwa 800 km Höhe über der Erdoberfläche in einer polnahen, sonnensynchronen Umlaufbahn. Dadurch wird erreicht, dass der Äquator bei jedem Umlauf zur gleichen Lokalzeit überflogen wird. Dies ist nötig, um die Vergleichbarkeit der Aufnahmen zu sichern. Die Wiederholrate von Envisat beträgt 35 Tage. Dies bedeutet, Envisat befindet sich nach 35 Tagen wieder an exakt derselben Position über der Erdoberfläche. Aufgrund der unterschiedlichen großen Sichtfelder der Instrumente wird jedoch meist eine Abdeckung der gesamten Erdoberfläche nach ein bis drei Tagen erreicht.<sup>19</sup>

### 3.1.2 Das Bodensegment

Das Bodensegment der Envisat-Mission, die Infrastruktur am Boden, kann in zwei Teile untergliedert werden: Das FOS (Flight Operation Segment) übernimmt die Einsatzplanung des Satelliten und der Instrumente, überwacht den Zustand des Satelliten und dessen Flugbahnparameter und kann gegebenenfalls Korrekturmanöver einleiten. Diese Aufgabe wird durch das FOCC (Flight Operations Control Centre) am ESOC (ESA Spacecraft Operations Centre) in Darmstadt/Deutschland übernommen.

---

<sup>17</sup> ESA (2001b), S. 16.

<sup>18</sup> LOUET (2001), S. 21.

<sup>19</sup> ESA (2001b), S. 7.

Die Übertragung, Aufbereitung und Archivierung der gesammelten Instrumentendaten wird vom PDS (Payload Data Segment) übernommen, das aus mehreren Stationen (Kiruna/Schweden, Svalbard/Schweden, Fucino/Italien) unter der Leitung des PDCC (Payload Data Control Centre) in Frascati/Italien besteht. Darüber hinaus bietet das PDS Anwendern Schnittstellen zur Datensuche, -bestellung und -lieferung.<sup>20</sup>

Durch die schnelle Datenübertragung vom Satelliten und die sofortige Aufbereitung durch das PDS ist es möglich, Anwendern Daten bereits drei Stunden nach Aufnahme bereitzustellen. Diese Bereitstellung in nahezu Echtzeit (NRT, Near Real Time) ist vor allem für Anwendungen der Katastrophenprävention und -verfolgung essentiell, da genaue und zeitnahe Vorhersagen und Vorwarnungen Leben retten können.

### **3.2 Kosten und Einnahmequellen**

Envisat stellte mit rund 2 Mrd. Euro Kosten für Entwicklung und Inbetriebnahme den teuersten Satelliten dar, der jemals von der ESA entwickelt wurde. Die Betriebskosten der auf 5 Jahre angelegten Mission sind mit einer Summe von 60 Mio. Euro pro Jahr veranschlagt, insgesamt also 300 Mio. Euro.<sup>21</sup>

Diesen Kosten gegenüber steht der Envisat-Mission als Einnahmequelle die Vermarktung der erfassten Daten zur Verfügung. Hierbei ging man bei der Preisgestaltung neue Wege: richtete sich diese bei den vorangegangenen Projekten ERS-1 und -2 nach dem Typ des Anwenders (man unterschied zwischen wissenschaftlichen, kommerziellen und meteorologischen Anwendern), orientiert man sich bei der Envisat-Mission am geplanten Einsatzzweck der Daten. Damit soll sichergestellt werden, dass Forschungsprojekte den gleichen Rechten und Pflichten der Datennutzung unterliegen, unabhängig davon, ob es sich bei den Projektträgern um öffentliche Einrichtungen oder private Firmen handelt.

Die Distribution der Daten zur wissenschaftlichen Anwendung (Kategorie I) wird von der ESA selbst übernommen, während die Distribution der Daten zur kommerziellen Anwendung (Kategorie II) an zwei weltweit agierende Konsortien (SARCOM, unter Leitung von Spot Image; EMMA, unter Leitung von EURIMAGE) sowie an mehrere Distributoren für Nischenprodukte übergeben wurde.<sup>22</sup>

Die Kosten für die von Envisat erfassten Daten sind im Verhältnis zu denen anderer Fernerkundungsmissionen relativ moderat: Während die Nutzer der Kategorie I die

---

<sup>20</sup> ESA (2001b), S. 11.

<sup>21</sup> ESA (2001a).

<sup>22</sup> KOHLHAMMER (2001), S. 130f.

Daten für nur wenig mehr als die Kosten des Datenträgers beziehen können<sup>23</sup>, liegen die Preise für Anwender der Kategorie II bei Daten des ASAR-Instruments zwischen 100 und 600 Euro für einen Ausschnitt von 100 x 100 km bzw. 400 x 400 km, abhängig vom gewählten Aufnahmemodus. Im Verhältnis dazu können die Kosten für vergleichbare Produkte anderer Fernerkundungsmissionen mehrere tausend Euro betragen.<sup>24</sup> Trotz der vielfältigen Möglichkeiten der kommerziellen Verwertung der Daten ist in Anbetracht der hohen Gesamtkosten der Mission ein im Verhältnis nur sehr marginaler Erlös zu erwarten.<sup>25</sup> Ob der Nutzen von Envisat trotzdem die enormen Kosten rechtfertigt, hängt deshalb hauptsächlich davon ab, inwieweit die durch Envisat gewonnenen Daten im Entscheidungsfindungsprozess der europäischen Umweltpolitik eine wesentliche Rolle spielen. Dass die Envisat-Mission durchaus dieses Potential besitzt, wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

### **3.3 Aufgaben und Möglichkeiten der Instrumente an Bord von Envisat**

An Bord von Envisat befinden sich zehn wissenschaftliche Instrumente, mit deren Hilfe unterschiedlichste Phänomene im System Erde beobachtet werden können. Obwohl sich die Messmethoden zwischen den einzelnen Instrumenten zum Teil drastisch unterscheiden, gibt es bei den beobachteten Phänomenen Überschneidungen. Dies lässt eine Vergleichsprüfung der erfassten Daten und der Instrumentenkalibration zu.

Unter Federführung der ESA wurden sieben Instrumente (MERIS, MIPAS, ASAR, GOMOS, RA-2, MWR, LRR) entwickelt, während es sich bei drei Instrumenten (SCIAMACHY, AATSR, DORIS) um so genannte „Announcement of Opportunity“-Instrumente handelt, die national entwickelt und finanziert wurden und in einem Ausschreibungsverfahren zum Einsatz bei der Envisat-Mission ausgewählt wurden.<sup>26</sup>

Im Folgenden sollen die wichtigsten Instrumente anhand ihrer technischen Eigenschaften und ihrer Aufgaben beschrieben werden.

#### **3.3.1 Instrumente zur Beobachtung der Land- und Meeresoberfläche**

##### **3.3.1.1 ASAR: Advanced Synthetic Aperture Radar**

ASAR ist ein hochauflösendes, abbildendes Radarinstrument, das zum einen zu globalen Monitoringzwecken eingesetzt werden kann, zum anderen aber auch der genauen

---

<sup>23</sup> KOHLHAMMER (2001), S. 130.

<sup>24</sup> SARCOM (2004); EURIMAGE (2005).

<sup>25</sup> STEIN (2002).

<sup>26</sup> LOUET (2001), S. 12.

Erforschung regionaler Phänomene dient. Da Radarinstrumente aufgrund der spezifischen Eigenschaften der verwendeten Mikrowellenstrahlung Wolken praktisch ungehindert durchdringen können, ist es mit ASAR im Gegensatz zu optischen Geräten möglich, Messungen sowohl bei Nacht als auch unabhängig vom aktuellen atmosphärischen Zustand in der zu beobachtenden Region durchzuführen. Weil ASAR eine Weiterentwicklung des an Bord von ERS-1 und 2 verwendeten SAR-Instruments AMI ist, kann eine Kontinuität der mit den beiden Vorgängersatelliten durchgeführten Messungen gesichert werden. Zusätzlich verfügt ASAR über eine verbesserte Aufnahmeleistung und mehrere unterschiedliche Aufnahmemodi, die eine höchstmögliche Flexibilität bei der Datenerfassung bieten sollen.

Das Einsatzgebiet von ASAR lässt sich in zwei Aufgabenbereiche unterteilen. Einerseits existieren die globalen Aufgaben, zu denen unter anderem die Kartierung und Überwachung der polaren Eisdecken, die Erkennung von großräumigen Veränderungen der Vegetation sowie die Überwachung der natürlichen und anthropogenen Verschmutzung der Ozeane gehören. Andererseits wurden auch regionale Aufgaben definiert, zu denen zum Beispiel die Überwachung des Schiffverkehrs, die Beobachtung von Treibeis, die Kartierung der Erdoberfläche sowie das Sammeln von Informationen zur Vorhersage und Verfolgung von und Reaktion auf Naturkatastrophen gehören.<sup>27</sup>

#### **3.3.1.2 RA-2: Radar Altimeter 2**

RA-2 ist ein aus den Instrumenten an Bord von ERS-1 und -2 weiterentwickeltes Radarhöhenmessgerät, das nach dem Echolotprinzip arbeitet und eine Vertikalauflösung von 8 bis maximal 0,5 Metern bietet. Seine Hauptaufgabe ist die Vermessung der Meeresoberfläche und des polaren Eises, darüber hinaus können über die Oberflächenstruktur des Wassers Rückschlüsse auf Wellenhöhen und die oberflächennahen Windverhältnisse über den Ozeanen gezogen werden. Anders als seine Vorläufer bietet RA-2 auch die Möglichkeit, Messungen an Land vorzunehmen. Mit diesen Informationen können Geländehöhen sowie Eigenschaften der Erdoberfläche und der darunter liegenden Geologie ermittelt werden.

Zur Unterstützung der Satellitenentfernungsmessung dient zum einen eine Art Spiegel, der LRR (Laser Retro-Reflector). Die mit RA-2 ermittelten Höhenwerte werden durch eine Laufzeitmessung der von der Erde ausgesendeten Laserimpulse überprüft. Zum anderen können die mit dem MWR (Microwave Radiometer) erfassten Informationen

---

<sup>27</sup> DESNOS et al. (2001), S. 91ff.; LOUET (2001), S. 13f.

über die Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre zur Korrektur der Messwerte von RA-2 herangezogen werden.<sup>28</sup>

### **3.3.1.3 MERIS: Medium Resolution Imaging Spectrometer**

MERIS liefert Aufnahmen, die vorrangig für ozeanografische Anwendungen, aber auch für Beobachtungen der Landoberfläche und der Atmosphäre genutzt werden können. Das Aufnahmesystem besteht aus fünf identischen Kameras, die bis zu 15 verschiedene Spektralbänder im Bereich des sichtbaren Lichts und der nahen Infrarotstrahlung bei einer räumlichen Auflösung von 250 m erfassen können.

Zum Aufgabenbereich von MERIS gehören die Messung der Konzentrationen von Phytoplankton, Schwebstoffen und Gelbstoff im Wasser, der Wolkenbedeckung und des Wasserdampfgehalts der Atmosphäre sowie die Beobachtung des Zustands der Vegetation. Anhand dieser Daten können Rückschlüsse auf Meeresverschmutzungen, Algenteppeiche, Eisberge, Schadstoffeinträge ins Meer oder Reife- und Schadenszustände der Vegetation gezogen werden.<sup>29</sup>

### **3.3.1.4 AATSR: Advanced Along Track Scanning Radiometer**

Hauptaufgabe von AATSR ist die Messung der Oberflächentemperatur des Meeres mit einer Genauigkeit von mehr als 0,3 Kelvin, um damit die Fortschreibung der mit den Vorgängerinstrumenten auf ERS-1 und -2 erfassten Datensätze zu ermöglichen. Das somit entstehende, 15 Jahre umfassende Archiv kontinuierlicher Messungen der Meeresoberflächentemperatur bietet vor allem im Bereich der Klimamodellierung eine einmalige Vergleichsmöglichkeit zwischen modellierten Werten und gemessener Realität. Aber auch zu den klimatologischen Phänomenen El Niño Southern Oscillation (ENSO) und der globalen Erwärmung kann AATSR wertvolle Informationen liefern. Darüber hinaus können mit AATSR durch die Messung verschiedener Parameter (Wasser-, Chlorophyllgehalt) Aussagen zu Biomasse, Versorgung mit Wasser sowie Reife- und Schadenszustände der Vegetation getroffen werden.<sup>30</sup>

## **3.3.2 Instrumente zur Beobachtung der Atmosphäre**

### **3.3.2.1 MIPAS: Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding**

MIPAS erlaubt die gleichzeitige Messung von mehr als 20 Spurengasen einschließlich der gesamten Stickoxid-Familie (NO<sub>x</sub>) und verschiedenen Spurengasen inklusive der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Darüber hinaus können die Temperatur der Atmosphäre sowie die Verteilung von Aerosolen, Zirruswolken in der Troposphäre und

---

<sup>28</sup> LOUET (2001), S. 19f.

<sup>29</sup> BÉZY (2000), S. 49f.

<sup>30</sup> LLEWELLYN-JONES et al. (2001), S. 12.

Eiswolken in der Stratosphäre gemessen werden. Letztere spielen vor allem beim Ozonabbau in den Polarregionen eine wichtige Rolle.

Ausgehend von diesen Messungen ist es mit MIPAS möglich, Aussagen über verschiedenste atmosphärische Phänomene zu treffen: Chemie der Stratosphäre (Veränderungen der globalen Ozonkonzentration), Dynamik der Atmosphäre (Transportprozesse in der Stratosphäre und Austauschvorgänge zwischen Tropo- und Stratosphäre), weltweite Verteilung von klimarelevanten Spurengasen und Aerosolen in der Atmosphäre sowie der Zusammenhang zwischen der Spurengasverteilung in der Troposphäre und menschlichen Aktivitäten.<sup>31</sup>

### **3.3.2.2 GOMOS: Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars**

GOMOS dient vor allem der Untersuchung längerfristiger Veränderungen von Ozon und anderen Spurengasen, die den natürlichen Ozonhaushalt der Stratosphäre beeinflussen. Das bei diesem Instrument verwendete, selbstkalibrierende Messprinzip ermöglicht eine hohe Genauigkeit. Das Instrument richtet sich zur Kalibration auf einen Stern aus, der zunächst noch hoch über dem Horizont steht und dessen Abstrahlung deshalb von der Atmosphäre ungestört gemessen werden kann. Danach verfolgt GOMOS kontinuierlich den Sternuntergang – steht der Stern dann vom Satelliten aus gesehen hinter der Atmosphäre, tauchen im gemessenen Spektrum die „Fingerabdrücke“ von Ozon und den Spurengasen in der Form von charakteristischen Signaturen auf. Daraus lässt sich dann die Konzentration dieser Stoffe in der Atmosphäre in einem Höhenbereich von 20 bis 100 km ableiten.<sup>32</sup>

## **3.4 Aktuelle Projekte und Anwendungen**

Wie schon in den vergangenen Kapiteln deutlich wurde, bieten die Instrumente an Bord von Envisat umfassende Möglichkeiten der Erdbeobachtung. Im Folgenden soll anhand einiger ausgewählter Beispiele aufgezeigt werden, welche Anwendungsmöglichkeiten sich aus diesen Daten ergeben.

### **3.4.1 Kartierung von Waldbrandschäden**

Waldbrände stellen vor allem in den mediterranen Ländern eine bedeutende Gefahr für die Umwelt dar. MERIS ist aufgrund seiner technischen Eigenschaften ein wichtiges Werkzeug zur Abschätzung der flächenhaften Ausdehnung und Schwere von Waldbrandschäden. In einem Forschungsprojekt konnte aufgrund der mit MERIS gesammelten Daten ein Zusammenhang zwischen Baumart und Schwere des Waldbrand-

---

<sup>31</sup> ENDEMANN et al. (2000), S. 1ff.

<sup>32</sup> RATIER et al. (1999), S. 17.

schadens entdeckt werden. Diese Information kann in Zukunft zur Bestimmung des Gefährdungspotentials und somit zur Waldbrandprävention beitragen. Aber auch als Grundlage zur Planung von Wiederaufforstungsaktionen und zur Verteilung finanzieller Unterstützung können die mit Envisat erfassten Daten herangezogen werden.<sup>33</sup>

### **3.4.2 Implementierung und Überwachung des Kioto-Protokolls**

Das 1997 verabschiedete Kioto-Protokoll ist ein Zusatzprotokoll zur Klima-Rahmenkonvention der Vereinten Nationen für den Klimaschutz, das verbindliche Ziele für die Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen festlegt, die als Verursacher der globalen Erwärmung gelten. Die Vertragsstaaten haben sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahre 2012 ihre Emissionen um durchschnittlich 5% unter das Niveau von 1990 zu senken.<sup>34</sup> Dazu ist es notwendig, diese Emissionen zu messen sowie deren Quellen und Senken zu identifizieren. Die Erdbeobachtung kann hier aufgrund ihrer Möglichkeiten unterstützend wirken. Die Instrumente an Bord von Envisat machen es möglich, Quellen der Treibhausgase zu identifizieren und deren Menge in der Atmosphäre zu quantifizieren. So waren beispielsweise Forscher der Universitäten Heidelberg und Bremen und des National Institute for Space Research in den Niederlanden mit Hilfe des SCIAMACHY-Instruments in der Lage, Spurengase in der Atmosphäre zu verfolgen und tagesaktuelle Weltkarten der Methanverteilung in der Atmosphäre zu erstellen. Aber auch die Senken der Treibhausgase können durch Fernerkundungsmethoden bestimmt werden. Eine Landnutzungskartierung der Erdoberfläche erlaubt die Analyse der räumlichen Verteilung der Senken (z.B. Wälder), die Messung ihrer Biomasse macht eine Aussage über ihre Absorptionskapazität möglich. Fasst man die so bestimmten Informationen über Quellen und Senken zusammen, ist es möglich, mittels Satellitenfernerkundung den Zielerreichungsgrad des Kioto-Protokolls global, als auch für einzelne Regionen und Länder abzuschätzen.<sup>35</sup>

### **3.4.3 Monitoring von Umweltverschmutzungen**

Mit den Mitteln der Satellitenfernerkundung ist es möglich, Verschmutzungen der Umwelt zu überwachen. So ist es z.B. möglich, mit ASAR aufgrund unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften von Meerwasser und Öl Ölteppiche auf den Meeren zu entdecken. Ca. 4,5 Mio. Tonnen Öl finden jedes Jahr ihren Weg in die Weltmeere, davon aber nur knapp 7% durch Schiffsunglücke oder Unfälle auf Bohrplattformen. Der größte

---

<sup>33</sup> GONZÁLEZ-ALONSO et al. (2004), S. 23ff.

<sup>34</sup> UNFCCC (1997), S. 3.

<sup>35</sup> ESA (2004a); ESA (2004b).



Teil des Öls gelangt durch bewusste Einleitung beim Reinigen der Tanks ins Wasser. Da internationale Verträge ein solches Verhalten verbieten, ist es möglich, solche Umweltsünder mit Hilfe der Satellitenfernerkundung zu entlarven und zur Rechenschaft zu ziehen. Die Europäische Union hat es sich zum Ziel gesetzt, mit Hilfe der Satellitenfernerkundungsdaten bis zum Jahr 2020 derartige Ölverschmutzungen der europäischen Gewässer vollständig zu eliminieren.<sup>36</sup>

#### **3.4.4 Überschwemmungsmonitoring**

Überschwemmungen sind nach Aussage der ESA die teuersten Naturkatastrophen. Mit Hilfe der Satellitenfernerkundung ist es jedoch möglich, anhand genauer digitaler Geländemodelle und rechnergestützten Überschwemmungsmodellierungen schon weit im Voraus vorherzusagen, welche Flächen bei Überflutungen exponiert sind. Diese Informationen können dazu dienen, Einfluss auf den Stadtplanungsprozess zu nehmen (gefährdete Flächen werden erst gar nicht besiedelt) oder notwendige Maßnahmen des Katastrophenschutzes rechtzeitig einzuleiten (wenn bereits eine Besiedelung existiert). Aber auch im Falle eines Überflutungsereignisses kann die Satellitenfernerkundung wertvolle Daten liefern. Mit den Radarinstrumenten an Bord von Envisat ist es problemlos möglich, trockene Landoberfläche vom überschwemmten Gebiet abzugrenzen. Diese Informationen können die Grundlage für eine schnelle und zuverlässige Abschätzung des Ausmaßes und der Schadenshöhe eines Flutereignisses sein.<sup>37</sup>

## **4 Ausblick und Fazit**

Wie in den vorigen Kapiteln beschrieben wurde, sind die Daten der Satellitenfernerkundung als Grundlage politischer Entscheidungen dringend notwendig. Die Europäische Weltraumorganisation ESA hat sich frühzeitig des Problems angenommen. Sie erfüllt die Ansprüche der satellitengestützten Beobachtung, Erforschung und Überwachung des Ökosystems Erde und seiner Teilbereiche zum einen durch leistungsfähige Umweltsatelliten (ERS-1/2, Envisat), zum anderen durch das 1998 ins Leben gerufene Erderkundungsprogramm „Living Planet“. Mit Hilfe dieses Programms soll es zukünftig möglich sein, schneller auf neue Erkenntnisse der Wissenschaft sowie auf gesellschaftspolitische Anforderungen zu reagieren. Dazu soll in den nächsten Jahren eine größere Zahl von Fernerkundungssatelliten in Betrieb genommen werden, die kleiner, spezialisierter und kostengünstiger sind als z.B. Envisat. Innerhalb von „Living Planet“ kann zwischen den Earth Explorer-Missionen, die vorrangig wissenschaftliche Interes-

---

<sup>36</sup> ESA (2004c).

<sup>37</sup> ESA (2004d).

sen befriedigen sollen, und den Earth Watch-Missionen, die dem operationellen Betrieb dienen sollen, unterschieden werden. Hauptziel von Earth Watch sind langfristig garantierte Datendienste in den Bereichen der Meteorologie, Geologie, Kartographie, Land- und Forstwirtschaft, Ozean- und Küstenmanagement sowie Versorgungswirtschaft und Sicherheit.<sup>38</sup> Ein weiterer integraler Bestandteil des Earth Watch Programms ist das GMES (Global Monitoring for Environment and Security) Service Element (GSE). Im Rahmen von GMES soll zwischen Daten-/Informationsanbietern und -nutzern bis 2008 ein Dialog zur optimalen Verwertung initiiert und ein European Shared Information System aufgebaut werden, das zukünftig einen leichten und einheitlichen Zugang zu Fernerkundungsdaten aller Art bieten soll. Die für das GSE entwickelten Dienste sollen sicherstellen, dass aus den Erdbeobachtungsdaten ein Maximum an Nutzen für die Unterstützung der europäischen Umwelt- und Sicherheitspolitik gezogen werden kann.<sup>39</sup> Abschließend ist festzustellen, dass moderne Fernerkundungssatelliten dabei helfen können, das System Erde und seine Teilbereiche zu verstehen. Darüber hinaus haben Fernerkundungsdaten das Potential, einen wertvollen Beitrag zur Gestaltung der Umweltpolitik zu leisten und umweltrelevante Entscheidungsprozesse zu unterstützen. Es ist aber notwendig, die Satellitenfernerkundung in den Kontext umweltpolitischer Maßnahmen und umweltstrategischer Ziele zu integrieren. Mit dem Programm „Living Planet“ wurde auf europäischer Ebene ein erster Schritt in diese Richtung getätigt. Es bleibt zu hoffen, dass diese Entwicklung zukünftig nicht nur in einem europäischen, sondern auch in einem globalen Kontext weitergeführt und ausgebaut wird.

---

<sup>38</sup> ESA (2005b); ESA (2005c); ESA (2005d).

<sup>39</sup> ESA (2002), S. 3f.

## Literaturverzeichnis

- ALBERTZ, J. (2001): *Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern*. Darmstadt.
- BACKHAUS, R.; GRUNWALD, A. (1995): *Umwelt und Fernerkundung – eine Einführung in das Buch*. In: *Umwelt und Fernerkundung. Was leisten integrierte Geo-Daten für die Entwicklung und Umsetzung von Umweltstrategien?* Hrsg.: R. Backhaus. Heidelberg. S. 5–9.
- BÉZY, J.-L.; DELWART, S.; RAST, M. (2000): *MERIS – A New Generation of Ocean-Colour Sensor onboard Envisat*. ESA Bulletin, 103, S. 48–56.
- DESNOS, Y-L. et al. (2001): *ASAR – Envisat’s Advanced Synthetic Aperture Radar*. – ESA Bulletin, Noordwijk, 102, S. 91–100.
- ENDEMANN, M. et al. (2000): *MIPAS – An Envisat Instrument for Atmospheric Chemistry and Climate Research*. ESA Bulletin, Noordwijk, 101, S. 1–14
- ESA (2001a): *The Envisat Fact Sheet*, in ESA Portal (PDF-Dokument). Zugriff: 01.06.2005, 11.32 MEZ. [http://envisat.esa.int/m-s/envisat\\_mission\\_2001/Present/Facts.pdf](http://envisat.esa.int/m-s/envisat_mission_2001/Present/Facts.pdf).
- ESA (2001b): *The Envisat Brochure*, in ESA Portal (PDF-Dokument). Zugriff: 16.05.2005, 17.41 MEZ. [http://envisat.esa.int/m-s/envisat\\_mission\\_2001/brochure/is2\\_8\\_5.pdf](http://envisat.esa.int/m-s/envisat_mission_2001/brochure/is2_8_5.pdf).
- ESA (2002): *Public Information Note. ESA Earthwatch Programme – GMES Services Element*, in GMES Portal (PDF-Dokument). Zugriff: 07.06.2005, 01.45 MEZ. [http://www.gmes.info/library/files/Reference%20Documents/ESA\\_Earthwatch\\_GMES\\_SE.pdf](http://www.gmes.info/library/files/Reference%20Documents/ESA_Earthwatch_GMES_SE.pdf).
- ESA (2004a): *Envisat Symposium Report Day 3: Satellites supporting Kyoto – our future is in our forests*, in ESA Portal (WWW-Seite). Zugriff: 03.06.2005, 10.30 MEZ. [http://www.esa.int/esaEO/SEMMUM0XDYD\\_environment\\_0.html](http://www.esa.int/esaEO/SEMMUM0XDYD_environment_0.html).
- ESA (2004b): *International treaties implementation. Kyoto Protocol*, in ESA Portal (WWW-Seite). Zugriff: 03.06.2005, 10.35 MEZ. [http://www.esa.int/esaEO/SEMH5E3VQUD\\_environment\\_0.html](http://www.esa.int/esaEO/SEMH5E3VQUD_environment_0.html).
- ESA (2004c): *Civil protection assistance. Pollution tracking*, in ESA Portal (WWW-Seite). Zugriff: 03.06.2005, 10.45 MEZ. [www.esa.int/esaEO/SEM80G3VQUD\\_environment\\_2.html](http://www.esa.int/esaEO/SEM80G3VQUD_environment_2.html).
- ESA (2004d): *Civil protection assistance. Flood monitoring*, in ESA Portal (WWW-Seite). Zugriff: 03.06.2005, 10.54 MEZ. [http://www.esa.int/esaEO/SEMQFF3VQUD\\_environment\\_2.html](http://www.esa.int/esaEO/SEMQFF3VQUD_environment_2.html).

- ESA (2005a): *30 Jahre ESA – Europas Raumfahrt auf Erfolgskurs*, in ESA Portal (WWW-Seite). Zugriff: 04.06.2005, 16.05 MEZ. [http://www.esa.int/esaCP/SEMM830DU8E\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMM830DU8E_Germany_0.html).
- ESA (2005b): *About the Living Planet Programme*, in ESA Portal (WWW-Seite). Zugriff: 02.06.2005, 18.42 MEZ. [http://www.esa.int/esaLP/ASERBVNW9SC\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaLP/ASERBVNW9SC_index_0.html).
- ESA (2005c): *About Earth Explorers*, in ESA Portal (WWW-Seite). Zugriff: 04.06.2005, 09.00 MEZ. [http://www.esa.int/esaLP/ASEWGW9SC\\_earthexplorers\\_2.html](http://www.esa.int/esaLP/ASEWGW9SC_earthexplorers_2.html).
- ESA (2005d): *About Earth Watch*, in ESA Portal (WWW-Seite). Zugriff: 04.06.2005, 09.12 MEZ. [http://www.esa.int/esaLP/M0HVCKSC\\_earthwatch\\_2.html](http://www.esa.int/esaLP/M0HVCKSC_earthwatch_2.html).
- EURIMAGE (2005): *EURIMAGE Price List May 2005*, in EURIMAGE (PDF-Dokument). Zugriff: 03.06.2005, 19.32 MEZ. [http://www.eurimage.com/products/docs/eurimage\\_price\\_list.pdf](http://www.eurimage.com/products/docs/eurimage_price_list.pdf).
- GONZÁLEZ-ALONSO, F. et al. (2004): *Mapping Forest-Fire Damage with Envisat*. – ESA Bulletin, Noordwijk, 120, S. 23–26.
- KOHLHAMMER, G. (2001): *The Envisat Exploitation Policy*. – ESA Bulletin, Noordwijk, 106, S. 128–133.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. (2000): *Remote Sensing and Image Interpretation*. 5. Aufl. New York, Chichester, Weinheim.
- LLEWELLYN-JONES, D. et al. (2001): *AATSR: Global-Change and Surface-Temperature Measurements from Envisat*. ESA Bulletin, Noordwijk, 105, S. 11–21.
- LOUET, J. (2001): *The Envisat Mission and System*. ESA Bulletin, Noordwijk, 106, S. 11–25.
- MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT (2005): *Topics Geo. Jahresrückblick Naturkatastrophen 2004*. München.
- RATIER, G. et al. (1999): *GOMOS: Envisat's Contribution to Measuring Long-Term Trends in Ozone and Other Trace Gases*. ESA Bulletin, Noordwijk, 97, S. 15–23.
- SARCOM (2004): *ERS-Envisat price list – May 1<sup>st</sup>, 2004*, in Spotimage (PDF-Dokument). Zugriff: 03.06.2005, 19.24 MEZ. [http://www.spotimage.fr/automne\\_modules\\_files/standard/public/p336\\_fileLINKEDFILE\\_Price\\_list\\_ERS.Envisat\\_05.04.pdf](http://www.spotimage.fr/automne_modules_files/standard/public/p336_fileLINKEDFILE_Price_list_ERS.Envisat_05.04.pdf).
- STEIN, M. (2002): *Envisat – Wie geht es weiter?* In Raumfahrer.net Portal (WWW-Seite). Zugriff: 01.06.2005, 11.10 MEZ. <http://www.raumfahrer.net/raumfahrt/envisat/weiter.shtm>
- THIEL, K.-H. (2002): *Skript Seminar Fernerkundung I*. Unveröff.
- UNFCCC (1997): *The Kyoto Protocol*, in UNFCCC (PDF-Dokument). Zugriff: 01.06.2005, 11.14 MEZ. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.

VAUGHAN, R.A.; WILSON, S.T. (2001): *Envisat – the Mission*. In: *Remote Sensing and Climate Change. The Role of Earth Observation*. Hrsg.: A.P. Cracknell. Berlin, Heidelberg, New York. S. 241–252.

VON GADOW, A. (1995): *Fernerkundung für die Umweltpolitik*. In: *Umwelt und Fernerkundung. Was leisten integrierte Geo-Daten für die Entwicklung und Umsetzung von Umweltstrategien?* Hrsg.: R. Backhaus. Heidelberg. S. 13–25.