

# Fernerkundung von Wasserinhaltsstoffen

Peter GEGE

Es gibt drei Klassen von Wasserinhaltsstoffen, die sich fernerkunden lassen: Phytoplankton, gelöste organische Substanzen (Gelbstoff) und Schwebstoff. Der Artikel erläutert zunächst die Methodik der quantitativen Bestimmung. Danach wird die Verfügbarkeit entsprechender Software für unterschiedliche Sensoren diskutiert. Abschließend folgt eine Übersicht von Instrumenten auf Satellit und Flugzeug und eine Diskussion ihrer Eignung für die Gewässerfernerkundung.

## 1. Einleitung

Information über Wasserinhaltsstoffe läßt sich per Fernerkundung nur im Sichtbaren gewinnen, denn wie Bild 1 illustriert, sieht nur in diesem Spektralbereich ein Fernerkundungssensor in das Wasser hinein. Infrarot- und Radarsensoren, die auch häufig zur Erdbeobachtung eingesetzt werden, erfassen bei Gewässern nur die Oberfläche (einige Mikro- bzw. Millimeter). Es lassen sich deshalb nur solche Inhaltsstoffe fernerkunden, die auch die Farbe des Wassers beeinflussen. Sie werden entsprechend ihrer Absorptions- und Streueigenschaften in drei Klassen eingeteilt: Phytoplankton, gelöste organische Substanzen (Gelbstoff) und Schwebstoff. Je nach Wellenlänge ist der Einfluss der drei Klassen unterschiedlich. In Kapitel 2 wird beschrieben, wie sich dies ausnutzen läßt, um durch sog. Inversionsverfahren die drei Klassen zu trennen und Konzentrationen quantitativ zu bestimmen. Wie es mit der Verfügbarkeit entsprechender Software aussieht, wird in Kapitel 3 erläutert. Kapitel 4 gibt eine Übersicht über Erdbeobachtungssatelliten, Kapitel 5 über Flugzeugsensoren, die in Europa verfügbar sind.

### Abbildung 1

**Absorption von reinem Wasser und daraus berechnete Dicke der Wasserschicht**, aus der 90% der im Wasser reflektierten Strahlung stammt (sog. Signaltiefe  $z_{90}$ ). Nur im Sichtbaren (VIS) sieht man ins Wasser hinein, bei anderen Wellenlängen absorbiert Wasser elektromagnetische Strahlung so stark, daß das rückgestreute Signal von einer sehr dünnen Schicht an der Oberfläche stammt. In Gewässern ist  $z_{90}$  aufgrund von Inhaltsstoffen meist deutlich kleiner als bei reinem Wasser. (TIR = Thermisches Infrarot; K, X, C, L = sog. „Bänder“, bei denen typische Radarsensoren arbeiten.)

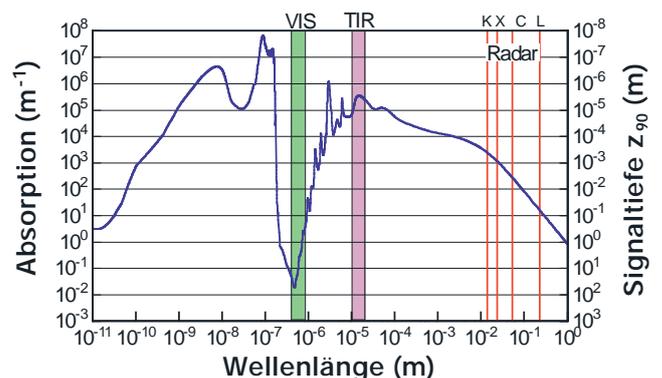
## 2. Methodik

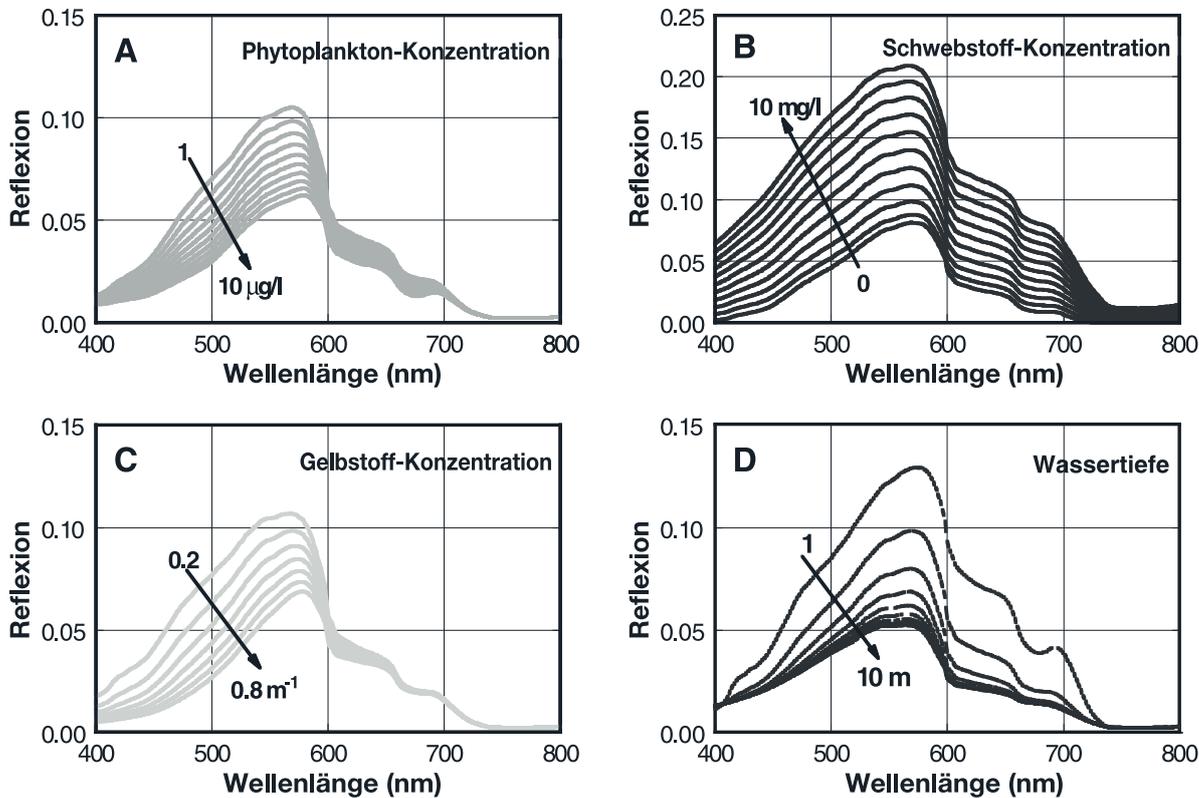
Das Meßsignal, das ein Instrument auf Satellit oder Flugzeug mißt, wenn es auf eine Wasseroberfläche blickt, ist von vielen Faktoren abhängig. Neben den Wasserinhaltsstoffen sind dies vor allem Streuung und Absorption der Atmosphäre, Reflexionen an der Wasseroberfläche, Blickwinkel und Sonnenstand. Die beiden letzteren lassen sich relativ einfach berücksichtigen, doch die Korrektur des von der Atmosphäre und der Wasseroberfläche stammenden Signals ist aufwendig und fehleranfällig. Diese Störsignale müssen sehr genau berechnet werden, da sie mehr als 90 Prozent des Meßsignals ausmachen können.

Nach Korrektur der Faktoren, die nichts mit den Wasserinhaltsstoffen zu tun haben, rechnet man das Meßsignal üblicherweise in ein Reflexionsspektrum  $R(\lambda)$  um. Es gibt an, welcher Bruchteil  $R$  des einfallenden Lichts bei der Wellenlänge  $\lambda$  im Wasser reflektiert wird.  $R(\lambda)$  hängt im wesentlichen von den Wasserinhaltsstoffen ab und geringfügig vom Sonnenstand. Für tiefes Wasser, wo man den Bodeneinfluss vernachlässigen kann, läßt sich  $R(\lambda)$  in guter Näherung durch folgende Gleichung beschreiben:

$$R(\lambda) = f \cdot \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)}$$

Die optischen Eigenschaften des Wassers und der Wasserinhaltsstoffe werden durch die Spektren  $a(\lambda)$  und  $b_b(\lambda)$  charakterisiert, wobei  $a$  der Absorptionskoeffizient und  $b_b$  der Rückstreuoeffizient ist.  $a$  ist ein Maß dafür, welcher Bruchteil des einfallenden Lichts beim Durchlaufen einer Strecke von 1 Meter





**Abbildung 2**

**Modellrechnungen zur Variabilität der Reflexionsspektren im Flachwasser.** Für die Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen und die Reflexion des Bodens wurden Bodenseetypische Verhältnisse angenommen (2 µg/l Phytoplankton, 2 mg/l Schwebstoff, 0.3 m<sup>-1</sup> Gelbstoff-Absorption bei 440 nm, Sedimentspektrum vom Bodensee). In den Bildern A, B, C trägt die Wassertiefe 2 Meter und die Konzentration von jeweils einem Wasserinhaltsstoff wurde in einem Bodenseetypischen Konzentrationsbereich variiert, in Bild D wurde die Wassertiefe verändert. Konzentrationsänderungen von Phytoplankton (A) und Gelbstoff (C) bewirken ähnliche Änderungen im Spektrum, daher ist ihre Trennung schwierig. Änderungen der Konzentration von Schwebstoff (B) und der Wassertiefe (D) führen zu relativ eindeutigen spektralen Änderungen, daher lassen sich diese Parameter recht genau bestimmen.

absorbiert wird;  $b_b$ , welcher Teil auf dieser Strecke zurückgestreut wird (Streuwinkel von 0 bis 90°).<sup>1)</sup>  $a$  und  $b_b$  haben daher die Einheit  $m^{-1}$ . Beide Koeffizienten sind additiv, das heißt es addieren sich die Beiträge von reinem Wasser und aller Inhaltsstoffe. Der Proportionalitätsfaktor  $f$  hängt geringfügig von  $a$  und  $b_b$  sowie vom Sonnenstand ab. Er liegt etwa bei 0.33. Die Gleichung ist auch intuitiv plausibel: Sie besagt, dass die Reflexion umso höher ist, je größer die Rückstreuung, und dass umso weniger Licht reflektiert wird, je mehr das Wasser absorbiert.

Kennt man die spezifischen (= auf die Konzentration normierten) Absorptions- und Rückstreuenspektren der Wasserinhaltsstoffe, so kann man mit der oben angegebenen Gleichung das Spektrum  $R(\lambda)$  für beliebige Konzentrationen berechnen. Für Flachwasser müssen darüber hinaus das Reflexionsspektrum des Bodens und die Wassertiefe bekannt sein. Dies nennt man Vorwärtsrechnung. Bild 2 zeigt einige Beispiele für Flachwasser. Man erkennt, wie unterschiedlich die

einzelnen Inhaltsstoffe und die Wassertiefe sowohl Amplitude wie auch Kurvenverlauf von  $R(\lambda)$  beeinflussen.

In der Praxis ist die Fragestellung umgekehrt: man mißt  $R(\lambda)$  und will daraus die Konzentrationen der Inhaltsstoffe und eventuell Wassertiefe und Bodentyp berechnen. Dies nennt man Inversion. Es gibt dafür zwei prinzipiell unterschiedliche Typen von Algorithmen: empirische und analytische.

*Empirische Algorithmen* basieren auf einem statistisch ermittelten Zusammenhang zwischen dem Messsignal und der unbekannt GröÙe. Es sind die klassischen Algorithmen der Fernerkundung, z. B. das Blau-Grün-Verhältnis zur Bestimmung von Chlorophyll im offenen Ozean oder der NDVI für die Biomasse von Landvegetation. Häufig werden nur zwei Spektralkanäle verwendet; manche Algorithmen benutzen gar nur einen, wenige drei oder mehr. Durch diese Beschränkung auf wenige Spektralkanäle wird nur ein Teil der Information genutzt und entspre-

<sup>1)</sup> Genauer: Das Verhältnis von absorbierter zu einfallender Intensität ist  $\exp(-a \cdot z)$ , das von rückgestreuter zu einfallender Intensität ist  $\exp(-b_b \cdot z)$ , wobei  $z$  die Weglänge ist.

chend ist die Genauigkeit prinzipiell eingeschränkt. In vielen Fällen lassen sich solche Algorithmen überhaupt nicht einsetzen, z.B. wenn nur zwei Spektralkanäle verwendet werden und zwei oder mehr veränderliche Größen das Messsignal beider Kanäle beeinflussen, wie das etwa in Küsten- und Binnengewässern der Fall ist. Da die Algorithmen durch Regression von Sensorsignalen mit Messdaten entwickelt werden, muss ein repräsentativer Datensatz gemessen werden. Die Messungen müssen möglichst zeitnah zum Überflug des Satelliten oder Flugzeugs erfolgen und sollten den gesamten Dynamikbereich erfassen, der in der Szene vorkommt. Aufgrund von Veränderungen des Sonnenstandes und der Atmosphäre ist es häufig ungewiss, ob sich ein Algorithmus, der während einer Kampagne entwickelt wurde, auf andere Termine übertragen läßt. Dieser langen Liste an Nachteilen stehen zwei Vorteile gegenüber: Die Auswertung von Bilddaten geht schnell und einfach, und man benötigt kein Modell.

*Analytische Algorithmen* basieren auf einem physikalischen Modell und können die gesamte Spektralinformation nutzen, die der Sensor misst. Sie sind daher prinzipiell genauer als empirische Algorithmen. Das zugrundeliegende Modell erlaubt es, viele Simulationsrechnungen durchzuführen, so dass ein wesentlich größerer Wertebereich der zu bestimmenden Größen abgedeckt werden kann als dies durch Messungen möglich ist. Außerdem läßt sich die Genauigkeit jedes abgeschätzten Parameters angeben. Es gibt zwei Nachteile: erstens muss ein genaues Modell vorliegen inklusive verlässlicher Information über die optischen Eigenschaften aller Stoffe, die den Strahlungstransfer merklich beeinflussen. Zweitens ist die Rechenzeit deutlich länger als bei empirischen Verfahren. Die Nachteile verlieren immer mehr an Bedeutung: es gibt zunehmend genauere Modelle und die Computer werden immer leistungsfähiger. Deswegen ersetzen analytische Algorithmen mehr und mehr die empirischen.

Gebräuchliche analytische Verfahren zur Inversion sind z.B. Fitten, neuronale Netze oder Interpolation in vorwärtsberechneten Spektralbibliotheken. Das Prinzip ist immer dasselbe: man ermittelt jenes Modellspektrum, das dem gemessenen Spektrum am ähnlichsten ist. Die dazugehörigen Modellparameter sind die gesuchten Ergebnisse. Die Verfahren unterscheiden sich im wesentlichen darin, wie sie aus der unendlich großen Zahl an Modellspektren die geeigneten auswählen.

### 3. Software

Software zur Kalibration von Instrumenten ist immer sensor-spezifisch. Sobald die Daten kalibriert sind, kann die weitere Auswertung im Prinzip mit sensor-unabhängigen Programmen erfolgen, die als einzigen sensor-spezifischen Input die spektralen Eigenschaften des Instruments benötigen. Doch solche generischen Programme gibt es wenige. In der Praxis wird die Datenauswertung deshalb fast immer mit Instrument-spezifischer Software durchgeführt. Es gibt jedoch nicht für jeden Sensor operationelle Software, so dass die Nutzer oft selbst die Programme entwickeln.

Im Bereich der Gewässerfernerkundung existiert operationelle Software nur für Satellitensensoren, die speziell für Gewässer entwickelt wurden: MERIS, MODIS, MOS-B und SeaWiFS. Sie wird in der Regel nicht vom Nutzer bedient, sondern der Datenprovider liefert neben den kalibrierten Daten auch die abgeleiteten Produkte aus. Dies sind die Konzentrationen von Phytoplankton, Schwebstoff und Gelbstoff im tiefen Wasser.

Das DLR entwickelt geräteunabhängige operationelle Software zur Datenauswertung:

- WASI. Dieses Programm ist für optische Schiffsmessungen gedacht. Es eignet sich sowohl für die Simulation von Messungen als auch zur Auswertung.

**Tabelle 1**

**Wichtigste Typen optischer in-situ-Messungen, die vom Programm WASI unterstützt werden.** Für alle Typen sind physikalische Modelle implementiert, mit denen spektral aufgelöste Messungen sowohl simuliert wie auch analysiert werden können.

Typ der Messung	Optionen
Absorption	der Inhaltsstoffe / des Wasserkörpers
Attenuation	für abwärtsgerichtete Bestrahlungsstärke
Reflexion	für Bestrahlungsstärke- / Strahldichtesensoren für tiefes / flaches* Wasser oberhalb / unterhalb der Wasseroberfläche
Bodenreflexion	für Bestrahlungsstärke- / Strahldichtesensoren
abwärtsgerichtete Bestrahlungsstärke	oberhalb / unterhalb der Wasseroberfläche
aufwärtsgerichtete Strahldichte	oberhalb / unterhalb der Wasseroberfläche

\*Algorithmen für Flachwasser sind in Entwicklung und stehen in der aktuellen Version noch nicht zur Verfügung.

tung. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Typen von Messungen, die unterstützt werden. WASI ist frei verfügbar und kann zusammen mit einem Handbuch von einem ftp-Server heruntergeladen werden (Server: ftp.dfd.dlr.de, Nutzer: anonymous, Passwort: [Email-Adresse], Verzeichnis: /pub/WASI).

- MIP. Dieses Programm ist für optische Flugzeug- und Satellitendaten gedacht. Es eignet sich zur Auswertung von multi- und hyperspektralen Bild- daten von Gewässern. Es befindet sich noch im Entwicklungsstadium. Eine kurze Beschreibung findet sich im Artikel von HEEGE et al. dieses Tagungsbandes.

#### 4. Satelliten

Tabelle 2 gibt einen Überblick über aktuelle Erdbeobachtungssatelliten. Die Liste ist nicht vollständig, sondern enthält nur die wichtigsten Satelliten. In der Tabelle wird zwischen Satelliten für Landanwendungen und solchen für Gewässer unterschieden. Sie unterscheiden sich signifikant in der räumlichen und spektralen Auflösung sowie in der Wiederholrate.

„Landsatelliten“ zeichnen sich durch eine hohe räumliche Auflösung aus (1-30 m), was aber nur auf Kosten der spektralen Auflösung realisiert werden kann. Bei höchster räumlicher Auflösung im Meterbereich kommt nur dann genügend Energie auf den Detektor, wenn die gesamte Strahlung im Sichtbaren aufintegriert wird, das heißt indem eine Schwarzweiß-Aufnahme mit nur 1 Spektralkanal gemacht wird. Solche sog. „panchromatischen“ Aufnahmen mit Auflösungen von 61 cm bis 2,50 m liefern Quickbird, IKONOS und SPOT. Für Farbbilder werden meist 4 Spektralkanäle verwendet: 3 im Sichtbaren (VIS) und 1 im nahen Infrarot (NIR). Die räumliche Auflösung ist entsprechend 4-fach geringer als mit 1 Spektral-

kanal. Instrumente mit 1 bis 4 Kanälen sind im wesentlichen als „Fotoapparate“ gedacht. Sie erlauben qualitative Aussagen und Klassifizierungen, aber für quantitative Analysen sind sie nur bedingt geeignet. 6-kanalige Sensoren wie Landsat-ETM und ALI haben vor allem im Roten und nahen Infrarot eine bessere spektrale Auflösung, was der Analyse von Landvegetation zugute kommt. Für Gewässer liegen die Kanäle nicht optimal.

„Wassersatelliten“ haben typischerweise 8 oder mehr Spektralkanäle im Sichtbaren und nahen Infrarot, aber die räumliche Auflösung liegt nur zwischen 300 und 1000 Metern. Für viele Anwendungen, vor allem für Binnengewässer, ist diese Auflösung nicht ausreichend. Sie ist die Folge der Forderung nach hoher Wiederholrate: Da sich Gewässer normalerweise in viel kürzeren Zeiträumen verändern als Landoberflächen, werden Satelliten für Gewässeranwendungen in der Regel so konzipiert, dass jeder Ort auf der Erde bereits nach wenigen Tagen wieder aufgenommen wird, während die Wiederholrate für Landsensoren typischerweise bei zwei, drei Wochen liegt. Die unterschiedlichen Wiederholraten erreicht man dadurch, dass man bei Gewässersatelliten Weitwinkel- und bei Landsatelliten Teleobjektive verwendet. Damit erzielt man bei ersteren eine Bildstreifenbreite von einigen tausend Kilometern, bei letzteren von einigen zehn bis hundert Kilometern. Bei ähnlicher Zahl von Bildpunkten pro Zeile ist deshalb die räumliche Auflösung von Gewässersensoren etwa zehn- bis hundertmal geringer als bei Landsensoren.

Der Gewässersensor mit der höchsten räumlichen Auflösung ist MERIS. Mit 300 Meter Pixelgröße ist er auch für größere Binnengewässer geeignet. Er wurde am 1.3.2002 mit dem europäischen Umweltsatelliten ENVISAT gestartet und liefert seit dem 10.7.2003 operationell Daten, u. a. von Wasserinhaltsstoffen.

**Tabelle 2**

**Aktuelle Erdbeobachtungssatelliten**

	Satellit	Sensor	räumliche Auflösung	Wiederholrate	Kanäle VIS-NIR
Land	Quickbird	(Kodak)	0.61/2.44 m	1-3.5 Tage	1/4
	IKONOS	(Kodak)	1/4 m	2-3 Tage	1/4
	SPOT 5	HRG/HRS	2.5/10 m	> 2 Wochen	1/4
	TERRA	ASTER	15 m	16 Tage	3
	Landsat 7	ETM <small>defekt seit 31.5.2003</small>	15/30 m	2-3 Wochen	1/6
	EO-1	ALI	30 m	4-16 Tage	6
	EO-1	Hyperion	30 m	4-16 Tage	220
Wasser	ENVISAT	MERIS	300 m	2 Tage	15
	IRS-P4	OCM	360 m	2 Tage	8
	TERRA AQUA	MODIS	250/500/ 1000 m	1 Tag	2/5/ 12
	IRS-P3	MOS-B	520 m	24 Tage	13
	SeaWiFS	WiFS	1000 m	2 Tage	8

Die Daten können bei der europäischen Weltraumorganisation ESA gekauft werden (<http://cat.envisat.esa.int/>). Die ESA-Produkte basieren auf globalen Algorithmen. Genauer sind lokale Algorithmen, die an bestimmte Bedingungen angepaßt sind. Solche wurden von GKSS und DLR für die Nordsee, Ostsee und den Bodensee entwickelt. Für die Überprüfung und den Vergleich wurden 2003 eine Reihe von Messkampagnen durchgeführt, die zur Zeit ausgewertet werden.

Von den in Tabelle 2 aufgeführten Sensoren nimmt Hyperion eine Sonderstellung ein: von der Wiederholrate (4-16 Tage) und der räumlichen Auflösung (30 m) her ist er ein „Landsatellit“, aber mit 220 (!) Kanälen bietet er eine außergewöhnlich hohe spektrale Auflösung. Die Spektren sind auch über Gewässern kaum verrauscht, so dass er für Gewässeranwendungen geeignet ist. Er ist Vorreiter einer neuen Klasse von Satellitensensoren, die hyperspektral räumlich hochaufgelöste Daten liefern. Noch gibt es wenige dieser Instrumente und keine operationellen Auswerteverfahren.

### 5. Flugzeugsensoren

Bevor ein Instrument für einen Satelliten gebaut wird, wird immer erst eine Flugzeugversion entwickelt. Es dauert dann Jahre, bis eine weltraumtaugliche Version um die Erde kreist. Aus diesem Grund ist die technische Entwicklung von Flugzeugsensoren jener von Satellitensensoren immer um einige Jahre voraus. Außerdem verringert sich bei Flugzeugsensoren ein Problem von Satelliteninstrumenten: das der Datenmenge. Einen Überblick über Flugzeugsensoren, die in Europa für die Gewässerfernerkundung eingesetzt werden, gibt Tabelle 3. CASI, Daedalus und HyMap sind kommerzielle Geräte, die in größerer Stückzahl gebaut wurden; AISA, EPS-a, MIVIS und ROSIS sind Einzelanfertigungen.

Während Satelliten für globale Fragestellungen unverzichtbar sind, lassen sich viele regionale Anwendungen besser mit Flugzeugen bedienen, vor allem, wenn es auf hohe räumliche Auflösung ankommt. Die räumliche Auflösung von Flugzeuginstrumenten ist variabel, denn sie hängt von der Flughöhe und der Fluggeschwindigkeit ab. Mit jedem Sensor von Tabelle 3 läßt sich eine Auflösung von ca. 1 Meter erreichen, zum Teil besser. Die Bildgröße ist ebenfalls variabel: Die Zahl der Bildpunkte einer Zeile ist zwar immer gleich (typischerweise 500-1000), aber wieviele Zeilen ein Bild hat, hängt davon ab, wie lange der Sensor eingeschaltet bleibt, denn das Bild entsteht Zeile für Zeile durch die Vorwärtsbewegung des Flugzeugs. Wählt man die Flughöhe so, dass die räumliche Auflösung z. B. 1 Meter beträgt, so erhält man folglich Bildstreifen, die 0,5-1 km breit und in der Regel einige Kilometer lang sind. Um größere Gebiete abzudecken, muss das Flugzeug einen Zickzackkurs fliegen und die Bildstreifen müssen nachträglich zusammengesetzt werden.

Das DLR besitzt zwei Flugzeugsensoren, Daedalus und ROSIS. Ab 2005 steht zusätzlich HyMap zur Verfügung. Zur automatischen Datenauswertung wurde das in Kapitel 3 erwähnte Programm MIP entwickelt. Ursprünglich für den Daedalus konzipiert, danach auf den ROSIS angepaßt (mit Abstrichen bei der spektralen Auflösung), wird es in Kürze für alle Sensoren anwendbar sein. Bisher können quantitativ die Konzentrationen von Phytoplankton und Schwebstoff ermittelt werden; die Gelbstoffbestimmung ist sensorbedingt unzuverlässig. Aus Daedalus-Daten vom Bodensee wurde die erste Verteilungskarte der Primärproduktion in einem Binnengewässer berechnet. Neben diesen quantitativen Analysen im Pelagial werden mit den Sensoren und Algorithmen des DLR zunehmend Anwendungen im Flachwasser- und Uferbereich erschlossen, siehe den Artikel von HEEGE et al. in diesem Tagungsband.

**Tabelle 3**

**Flugzeugsensoren, die in Europa eingesetzt werden.** Land = Herstellerland

Land	Sensor	Kanäle	Spektralbereich	spektrale Bandbreite
FI	AISA	bis 288	430 - 900 nm	1.8 nm
CA	CASI	bis 288	400 - 1000 nm	1.9 nm
USA	Daedalus	11	430 nm - 12 µm	26 - 78 nm
NL	EPS-a defekt seit 2001	25	406 - 995 nm	15 nm
AU	HyMap	126 32	450 - 2500 nm 8 - 12 µm	15 - 20 nm 100 - 200 nm
I	MIVIS	20 50 9 340 - 540	430 - 830 nm 1150 - 1550 nm 1980 - 2450 nm 8210 - 12700 nm	20 nm 8 nm 64 nm 10 nm
D	ROSIS	115	430 - 860 nm	4 nm

## 6. Weiterführende Information

### Lehrbücher

BUKATA, R. P.; J. H. JEROME, K. Y. KONDRATYEV & D. V. POZDNYAKOV (1995):  
Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters. CRC Press

GORDON, H. R. & A. MOREL (1983):  
Remote assessment of ocean colour for interpretation of satellite visible imagery, a review. Springer-Verlag

JERLOV, N. G. (1968):  
Optical Oceanography. Elsevier Scientific Publ. Company

JERLOV, N. G. (1976):  
Marine Optics. Elsevier Scientific Publ. Company

JERLOV, N. G. & E. STEEMANN NIELSEN [eds.] (1979):  
Optical Aspects of Oceanography. Academic Press

KIRK, J. T. O. (1983):  
Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press

KONDRATYEV, K.Y.; N.N. FILATOV, O.M. JOHANNESSEN, V.V. MELENTYEV, D.V. POZDNYAKOV, S.V. RYANZHIN, E.V. SHALINA & A.I. THIKHOMIROV (1999):  
Limnology and remote sensing - a contemporary approach. Springer

MOBLEY, C. D. (1994):  
Light and Water. Academic Press

POZDNYAKOV, D. & H. GRASSL (2003):  
Colour of inland and coastal waters – a methodology for its interpretation. Springer

PREISENDORFER, R. W. (1976):  
Hydrologic Optics. Available on CD-ROM from the Office of Naval Research, Ocean Atmosphere and Space Department ([www.onr.navy.mil](http://www.onr.navy.mil))

ZIMMERMANN, G. (1991):  
Fernerkundung des Ozeans. Akademie Verlag

**Umfangreiche Literaturliste: [www.ioccg.org](http://www.ioccg.org)**

### Satelliten- und Flugzeugsensoren:

KRAMER, H. J. (2002):  
Observation of the Earth and Its Environment. Survey of Mission and Sensors. 4th Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, ISBN:3-540-60933-4, 1514 p.

ALI:  
<http://eo1.gsfc.nasa.gov/Technology/ALHome1.htm>

ASTER:  
<http://asterweb.jpl.nasa.gov/default.htm>

ENVISAT:  
<http://envisat.esa.int/>

Hyperion:  
<http://eo1.gsfc.nasa.gov/Technology/Hyperion.html>

IKONOS:  
<http://www.infoterra-global.com/ikonos.htm>

Landsat-ETM:  
[http://eosims.cr.usgs.gov:5725/SENSOR\\_INSTRUMENT\\_DOCS/landsat\\_etm+\\_sensor\\_abs.html](http://eosims.cr.usgs.gov:5725/SENSOR_INSTRUMENT_DOCS/landsat_etm+_sensor_abs.html)

MERIS:  
<http://envisat.esa.int/instruments/tour-index/meris/>

MODIS:  
<http://modis.gsfc.nasa.gov/>

MOS-B:  
[http://www.ba.dlr.de/NE-WS/ws5/index\\_mos.html](http://www.ba.dlr.de/NE-WS/ws5/index_mos.html)

OCM:  
<http://www.isro.org/irsp4.htm>

Quickbird:  
<http://www.infoterra-global.com/quickbird.htm>

SeaWiFS:  
<http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS/BACKGROUND/>

SPOT 5:  
<http://www.spot.com/home/system/future/spot5/welcome.htm>

### Anschrift des Verfassers.

Peter Gege  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
(DLR Oberpfaffenhofen)  
Institut für Methodik der Fernerkundung,  
Postfach 1116  
82230 Weßling.  
E-Mail: [peter.gege@dlr.de](mailto:peter.gege@dlr.de)

Zum Titelbild: Das Bild zeigt ein Anwendungsbeispiel zur Kartierung von submersen Makrophyten im Flachwasserbereich um die Insel Reichenau (Bodensee). Vergleich der Prozessierungsergebnisse von DAEDALUS- Aufnahmen im Juli 2001 und 2002.

Spezielle MIP-Module korrigieren in dieser Anwendung den Einfluss der Wassersäule auf das Reflexionssignal, ermöglichen die Berechnung der Reflexionseigenschaften des Seegrundes und interpretieren diese Spektren dann als Mischsignal aus verschiedenen Sediment- oder Bewuchsklassen. Im Ergebnisbild werden Klassen von bodennahen Makrophyten (*Characeen*) in der Farbe grün, von hoch wachsenden Makrophyten (hier: hauptsächlich *Potamogeton perfoliatus* & *pectinatus*) in rot und unbedeckte Seegrund-Sedimente in blau dargestellt (siehe Beitrag HEEGE et al. S. 67-71).

## **Laufener Seminarbeiträge 2/03**

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

ISSN 0175 - 0852

ISBN 3-931175-71-5

---

Die Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege ist eine dem Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz angehörende Einrichtung.

---

Die mit dem Verfassernamen gekennzeichneten Beiträge geben nicht in jedem Fall die Meinung der Herausgeber wieder. Die Verfasser sind verantwortlich für die Richtigkeit der in ihren Beiträgen mitgeteilten Tatbestände.

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der AutorInnen oder der Herausgeber ist unzulässig.

Schriftleitung und Redaktion: Dr. Notker Mallach (ANL, Ref. 12) in Zusammenarbeit mit Dr. Elisabeth Obermaier

Satz: Fa. Hans Bleicher, Laufen

Druck und Bindung: E. Grauer Offsetdruck, Laufen

Druck auf Recyclingpapier (100% Altpapier)