

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

# BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

## Wege in der Physikdidaktik

Band 3

Rückblick und Perspektive

ISBN 3 - 7896 - 0513 - 1

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1993

### Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.  
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle  
genutzt werden. Auf der Homepage

[www.solstice.de](http://www.solstice.de)

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Walter Bube, Nils Fischer

## Die Erde von oben betrachtet - Zur Technik der Satellitenbilder

"Der Mensch muß sich über die Erde erheben - an das Ende der Atmosphäre und darüber hinaus - , nur dann wird er die Welt, in der er lebt, voll verstehen." (Sokrates um 450 v. Chr.)

Der erste Teil dieses Satzes wurde durch die technischen Möglichkeiten der Raumfahrt und die Beobachtung der Erde vom Weltraum aus in den letzten beiden Jahrzehnten umgesetzt, das volle Verständnis unserer Welt bleibt sicher eine Utopie. Die Erkundung der Erde vom Satelliten aus ist jedoch für die Kartografie sowie für die Umwelt- und Klimabeobachtung ein unentbehrliches Hilfsmittel geworden, das angesichts der Klimaproblematik sicher noch an Bedeutung gewinnen wird. Weithin bekannt sind die Wetterbeobachtungssatelliten wie Meteosat und Nimbus. Satellitenbilder von unserem Planeten haben uns in eindringlicher Weise einen neuen Blick auf unseren Planeten eröffnet und das Bewußtsein für globale Zusammenhänge und gemeinsame Verantwortung geschärft; andererseits zeigten die Aufnahmen von brennenden Ölfeldern in Kuwait, daß die Lösung von Konflikten trotz höherentwickelter Technik nicht im angesprochenen Sinne gelingt.

Elektronische Kameras an Bord von Satelliten registrieren die schwache Strahlung von der Erdoberfläche aus großer Höhe. Eine hochentwickelte Aufnahmetechnik mit strahlungsempfindlichen elektronischen Sensoren ermöglicht inzwischen Bilder, die Details der Größenordnung 10-100 m erkennen lassen. Die Bilddaten werden an Bord des Satelliten zwischengespeichert und beim Überflug den Empfangsstationen auf der Erde per Funk zur Weiterverarbeitung übermittelt (die Daten können auch direkt über einen Nachrichtensatelliten gesendet werden wie beim Tracking and Data Relay Satellite TDRS der USA für Landsat 5).

Die elektronischen Sensoren nutzen neben Wellenlängenbereichen des sichtbaren reflektierten Lichts auch andere spektrale Bereiche wie z.B. das reflektierte und emittierte Infrarot. Die verschiedenen Spektralbereiche werden unterschiedlich von den Strukturen der Erdoberfläche reflektiert und unterscheiden sich auch in der Absorption durch die Atmosphäre; je nach gewähltem Spektralbereich - auch als Kanal oder Band bezeichnet - erscheinen andere Strukturen deutlicher. Man kann damit verschiedene Bodenarten, Vegetation, Eis, Wasser oder Wolken unterscheiden. Erst die komplexe Auswertung der Bilddaten mit Computersystemen (Korrektur der Bildverzerrung, Umsetzung der gemessenen Intensität in Graustufen, Einfärbung, Verknüpfung der Daten mit anderen Informationssystemen...) liefert die endgültigen Bilder als farbige Ausdrücke.

Die Fernerkundung von Satelliten unterstützt die kartografische Erfassung der Topographie; die größte Bedeutung liegt in der Möglichkeit, lokal gut untersuchte Phänomene wie Schnee- und Eiskecken oder Vegetationsschäden in ihrer räumlichen Ausdehnung zu registrieren und bildlich darzustellen. Als wichtige Beispiele für thematische Kartierungen seien genannt:

- Klassifikationen, z.B. Waldverteilung oder Bodennutzung
- ökologische Kartierung, z.B. Waldschadenskartierungen, Beobachtung von Algen oder Insektenfraß
- geologische Kartierungen (z.B. Lagerstättenprospektion)
- Eiskartierung

Die Satellitenbilder bestehen aus einzelnen kleinsten Bildpunkten, den sogenannten Pixels. Sie entsprechen der kleinstmöglichen Bodenfläche, für die der Sensor die Strahlung vom Nachbarbezirk trennen kann. Ihre Größe wird als die geometrische Auflösung des Sensors bezeichnet. Bei Landsat 4-5 stellt jedes Pixel eine Fläche von 30 m 30 m dar. Für jede dieser zumeist quadratischen Flächen erfaßt der Sensor die Intensität der Strahlung und speichert sie als Graustufe digital ab. Die Zahl der Graustufen bestimmt die radiometrische Auflösung des Sensorsystems (das Aufnahmesystem Landsat Thematic Mapper TM kann z.B.  $256 = 2^8$  Graustufen unterscheiden). Auf diese Weise entstehen zunächst Einzelbilder verschiedener Spektralbereiche (Spektralkanäle), die unterschiedliche Informationen enthalten und bei der Verarbeitung mit dem Computer beliebig eingefärbt werden können. Bei der Zusammensetzung zu einem Gesamtbild kann man die Farben auch so wählen, daß ein sehr naturnahes Farbkomposit (Wasser blau, Vegetation grün, ...) entsteht. Die Bildeigenschaften werden dabei bestimmt von:

- der Umlaufbahn des Satelliten
- den physikalischen Eigenschaften des Aufnahmesystems
- der elektronischen Bildverarbeitung (u.a. auch Verknüpfung mit anderen Informationssystemen)
- dem Objekt selbst und der Atmosphäre.

Das endgültige Bild ist also ein Falschfarbenbild und entspricht, im Gegensatz zur fotografischen Aufnahme, nicht dem Eindruck, den ein Mensch aus dem All haben würde. Das Satellitenbild bedarf deshalb immer einer Interpretation. Im Gegensatz zu einer Karte enthält ein Satellitenbild den gesamten Informationsgehalt. Eine Veränderung des Maßstabes kann daher allein durch Vergrößern eines Bildausschnittes mit dem Computer erreicht werden. Diese Vergrößerung wird durch die räumlich nicht mehr auflösbaren Pixelquadrate nach oben beschränkt.

### **Bezug zum Unterricht**

Im Fach Physik können, als Anwendung von Satellitenbahnen in der Jahrgangsstufe 11, die besonderen Erfordernisse der Umlaufbahn von Satelliten zur Fernerkundung erarbeitet werden. Die spektra-

len Eigenschaften der Aufnahmesysteme lassen sich in vereinfachter Weise mit den Grundkenntnissen über das Spektrum des Lichts aus der Mittelstufe erläutern; vertiefte Betrachtungen sind erst mit den Kenntnissen der Oberstufe möglich.

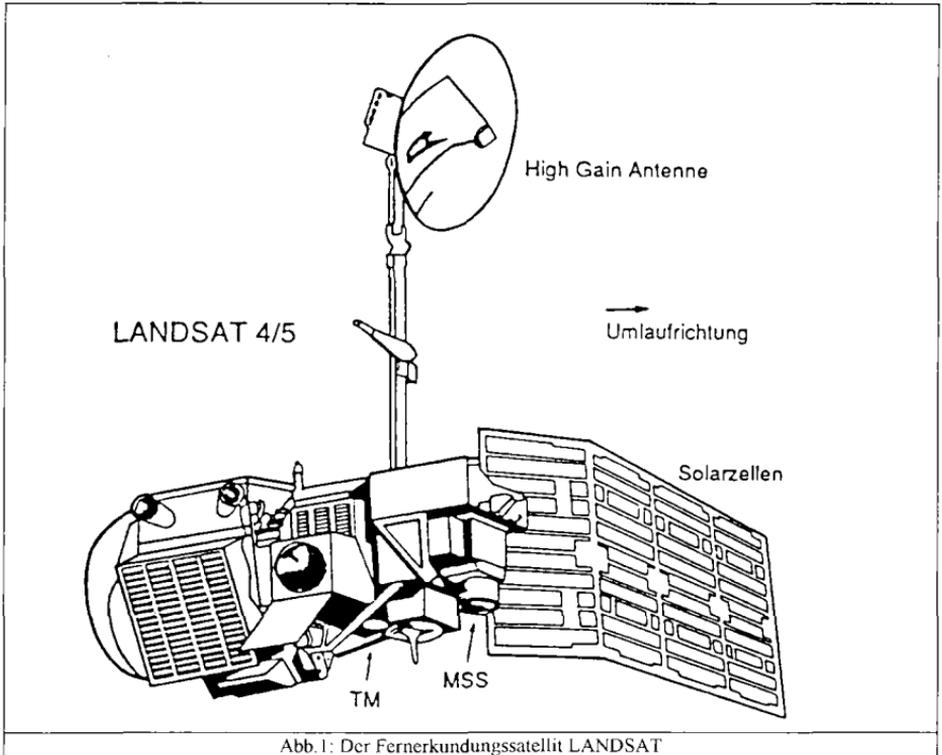


Abb. 1: Der Fernerkundungssatellit LANDSAT

Im Geographieunterricht können Satellitenbilder vor allem im Rahmen der geowissenschaftlichen Theorienbildung (früheres Forschungsprojekt) sowie bei der Erarbeitung der Naturräume in Deutschland in der Jahrgangsstufe 11 ausgewertet werden. Das Thema bietet sich besonders für eine fächerübergreifende Zusammenarbeit der beiden Fächer auch im Rahmen eines Studientages an, bei dem sich am Beispiel ökologischer Kartierungen viele anwendungsbezogene Aspekte ergeben. Ziel dieses Artikels ist es, die Grundlagen der Fernerkundung darzustellen und Anregungen für die Umsetzung im Geographie- und Physikunterricht zu geben. Neben typischen Anwendungen der Fernerkundung sind am Ende des Kapitels Literaturfundstellen als Anregung für fächerübergreifende Ansätze (Physik, Erdkunde und evtl. Biologie) zusammengestellt. Damit läßt sich sowohl angewandte Physik betreiben als auch ein Einblick in die Bedeutung der Raumfahrt für die geografische und ökologische Datenerfassung vermitteln.

## 1. Physikalische Grundlagen der Fernerkundung

### Vereinfachtes Modell der Fernerkundung (passive Systeme)

Passive Systeme (wie SPOT, LANDSAT, NOAA) registrieren mittels hochempfindlicher elektronischer Sensoren die von der Erde reflektierte oder emittierte Strahlung in verschiedenen Spektralbereichen vom sichtbaren Licht bis zur Wärmestrahlung (thermales Infrarot). Für die Zukunft werden auch vermehrt aktive Systeme wie ERS 1 (Radarsatelliten) entwickelt, die selbst Mikrowellen aussenden und die von der Erde reflektierte Strahlung analysieren. Die gewonnenen elektronischen Daten werden, wie bei den passiven Systemen, in digitalisierter Form zur Erde übermittelt, wo sie mittels komplexer Computerprogramme verarbeitet und in ein Bild umgesetzt werden.

Das Prinzip der Fernerkundungssatelliten soll exemplarisch am Beispiel der LANDSAT-Systeme (Abb. 1) dargestellt werden. Die Wahl der geeigneten Bahn, das Aufnahmesystem Multispectral Scanner (MSS) bzw. Thematic Mapper (TM) und die abschliessende Bildgewinnung sind dabei die Schwerpunkte.

### 1.1 Die Umlaufbahn

Geostationäre Satelliten befinden sich über dem Äquator in ca. 36 000 km Höhe. Ihre Umlaufge-

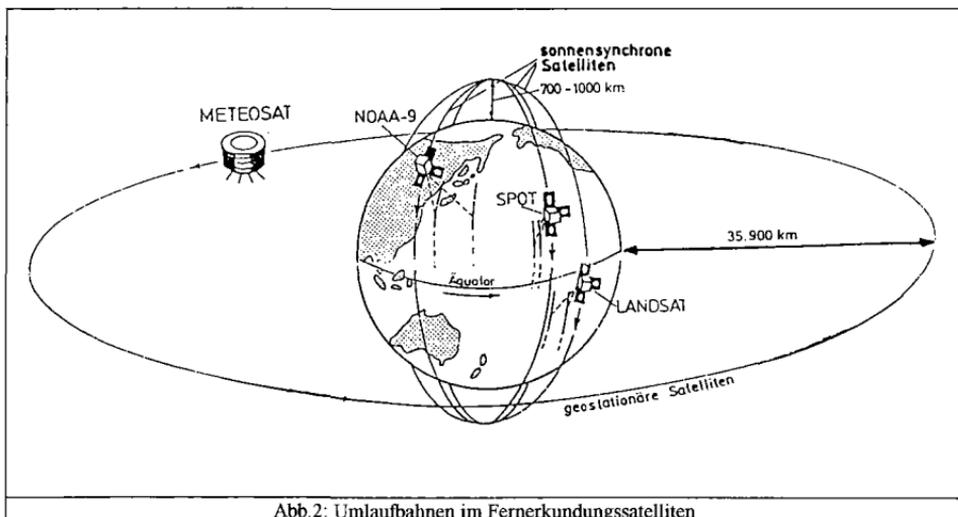
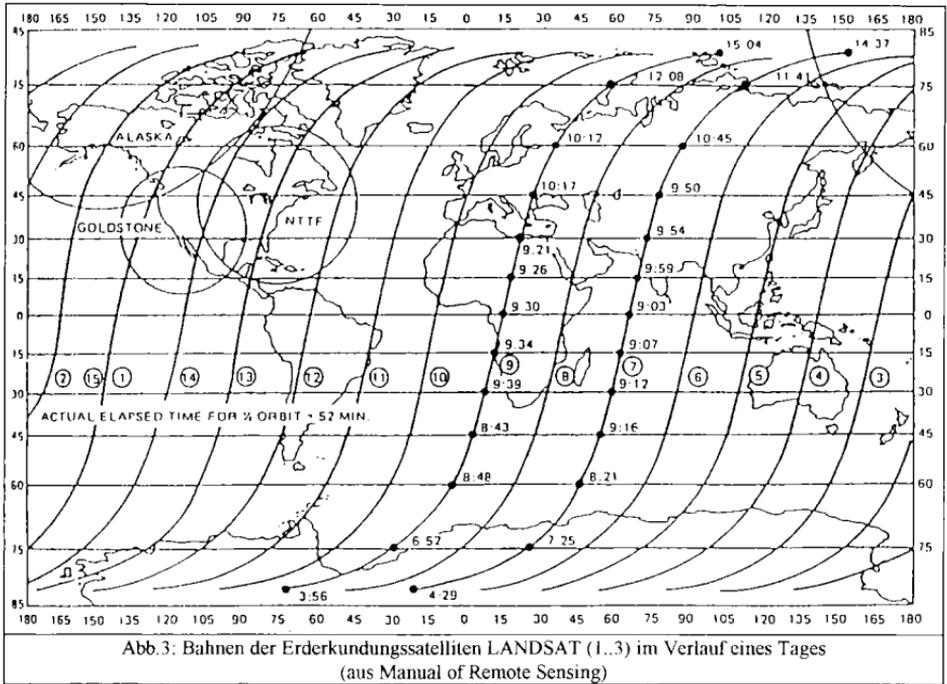


Abb. 2: Umlaufbahnen im Fernerkundungssatelliten

windigkeit ist dann mit der Drehung der Erde "synchronisiert", so daß sie scheinbar über einem Punkt der Erde stillstehen (Abb. 2) und mit ihrem Aufnahmesystem die halbe Erdkugel erfassen. Bekanntestes Beispiel im Bereich der Fernerkundung ist der Wettersatellit Meteosat. Die Berechnung der notwendigen Höhe für geostationäre Satelliten gehört zu den Standardaufgaben des Physikunterrichts in der Jahrgangsstufe 11.



Will man kleinere Gebiete der Erdoberfläche beobachten, so bieten sich **polare Umlaufbahnen** an. Die Umlaufzeit des Satelliten, die mit seiner Höhe wächst, führt zusammen mit der Drehung der Erde zu einem komplizierteren Überfliegen einzelner Streifen der Erdoberfläche. Das soll in Abb. 3 anhand der LANDSAT (1..3) Satelliten erläutert werden. Ein halber Umlauf dauert in der Höhe von 920 km ca. 52 min., damit schafft dieser Satellit an einem Tag 14 Umläufe. Wie man an den projizierten Bahnkurven sieht, haben zwei aufeinanderfolgende Bahnkurven auf dem Äquator einen gewissen Abstand ( $25,8167^\circ$  in Längengraden ausgedrückt). Nach 14 Umläufen summiert sich das zu  $361,43^\circ$ ; der Abstand zwischen 1. und 15. Umlauf beträgt auf dem Äquator demnach  $1,43^\circ$ , was 159 km entspricht. Mit einer Breite des Aufnahmefeldes von 185 km (siehe Tabelle) liegen benachbarte Streifen im günstigsten Fall zeitlich einen Tag auseinander. Die Ausgangsbahn ist nach 18 Tagen wieder erreicht ( $181,43^\circ = 25,82^\circ$ ). Die Umlaufbahn der LANDSAT, NOAA und NIMBUS-Satelliten verläuft nicht ganz polar; am Nordpol ist sie leicht nach Osten versetzt, am Südpol entsprechend nach Westen (Inklination  $99^\circ$ ). Man erhält damit etwa gleiche Beleuchtungsverhältnisse, weil jedes Gebiet zur gleichen Ortszeit überflogen wird. Ab LANDSAT 4 wurden die Bahnparameter modifiziert. Die Flughöhe von 705 km und die Inklination der Bahn von  $98^\circ$  bewirken eine Wiederholungsperiode von 16 anstatt 18 Tagen und eine kompliziertere Sequenz von Flächenabdeckungen (Näheres siehe Literaturhinweise: Bähr, H.P., S. 254). Eine Zusammenfassung wesentlicher Daten verschiedener Fernerkundungssatelliten gibt die Tabelle. Bemannte Satelliten, von denen aus

Bezeichnung	Spektralbereich	Auflösungselemente am Boden m	Bildgröße	Bahndaten	Wiederholung
LANDSAT MSS USA	0,5-0,6 $\mu\text{m}$ 0,8-1,1 $\mu\text{m}$ 0,6-0,7 $\mu\text{m}$ 0,7-0,8 $\mu\text{m}$	79 x 56	3200 x 2300 Elemente 185 km x 185 km	h = 920 km i = 99°	Starr 18 Tage
LANDSAT TM USA	0,45-0,52 $\mu\text{m}$ 1,55-1,75 $\mu\text{m}$ 0,52-0,60 $\mu\text{m}$ 10,40-12,50 $\mu\text{m}$ 0,63-0,69 $\mu\text{m}$ 2,08-2,35 $\mu\text{m}$ 0,76-0,90 $\mu\text{m}$	30 x 30 120 x 120 (thermal)	7020 x 5760 Elemente 185 km x 185 km	h = 705 km i = 98°	Starr 16 Tage
MOMS ESA	0,575...0,625 $\mu\text{m}$ 0,825...0,975 $\mu\text{m}$	20 x 20	6912 Elemente pro Zeile 140 km	h = 292-330 km i = 28°,5 Spacelab (SPAS - 01)	-
SPOT F	pan: 0,50-0,59 $\mu\text{m}$ 0,51-0,73 $\mu\text{m}$ 0,61-0,68 $\mu\text{m}$ 0,79-0,89 $\mu\text{m}$	10 x 10 (pan) 20 x 20 (multi- spektral)	6000 x 6000 Elemente (pan) 3000 x 3000 (m.s.) 60 km x 60 km	h = 832 km i = 99°	flexibel 26 Tage

Technische Angaben zu Satellitensystemen

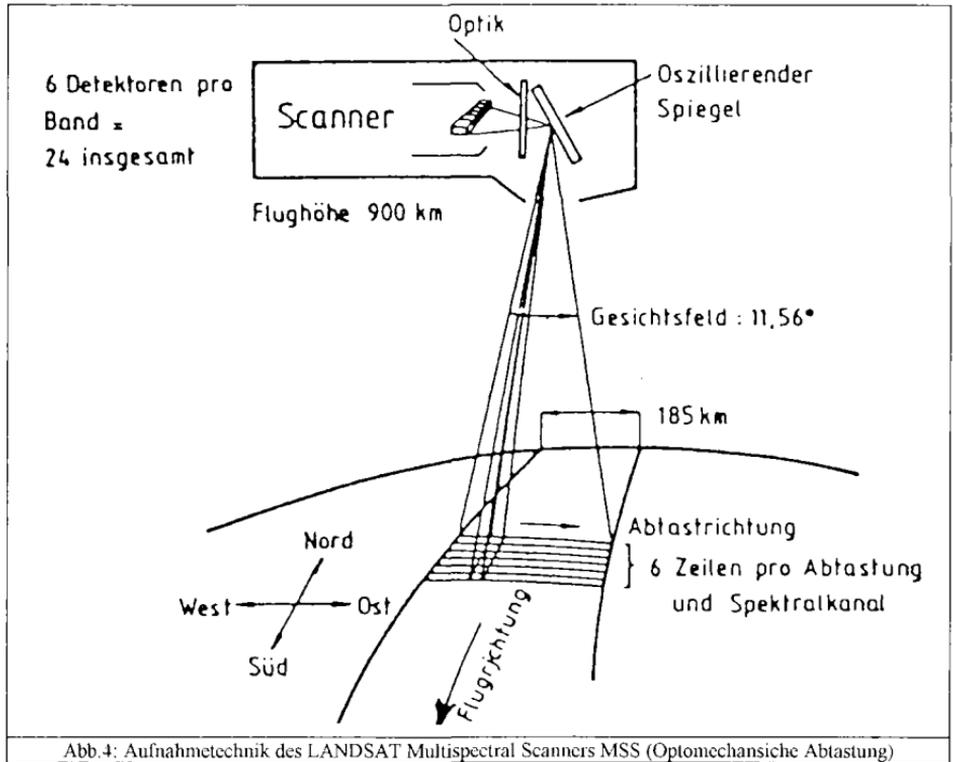
fotografische Erdaufnahmen gemacht werden, bewegen sich in **geneigten Umlaufbahnen** (z.B. Skylab).

## 1.2 Die Aufnahmetechnik

Das Prinzip der Abtastung der Erdoberfläche läßt sich am Beispiel des Multispektralscanners (MSS) von LANDSAT erklären (Abb. 4). Ein oszillierender Abtastspiegel erfaßt quer zur Flugrichtung die von der Erde reflektierte Strahlung und die emittierte Wärmestrahlung (thermisches IR). Die einfallende Strahlung wird spektral zerlegt und für jedes spektrale Band (Kanal) auf 6 elektronische Detektoren verteilt, die die Strahlung in elektrische Signale umsetzen. Jede der 6 Abtastzeilen am Boden hat eine Breite von 79 m und eine Länge von 185 km. Die geometrische Auflösung dieses LANDSAT-Systems beträgt 79 m·56 m; ihr entspricht ein Pixel im endgültigen Bild. Für jedes Bodenpixel funkt der Satellit für jeden Spektralbereich den gemessenen Intensitätswert der Strahlung (als Graustufenwert) zur Erde. Das endgültige Bild, die sog. LANDSAT-Szene, stellt üblicherweise eine Fläche von 185·185 km dar.

Das vorgestellte LANDSAT-System gehört zu den opto-mechanischen Abtastsystemen. Andere Fernerkundungssatelliten benutzen elektrooptische Abtaster. Sie enthalten keine beweglichen Teile, die gesamte Bildzeile wird simultan erfaßt. Viele Halbleiterdetektoren werden in Zeilen angeordnet, so daß jeder Bildzeile eine Detektorzeile entspricht. Beim MOM-System realisierte man eine Zeilen-

länge von 6912 Elementen, was durch eine Kombination von 4 Sensorzeilen mit je 1728 Elementen gelang. Man verwendet dazu für jeden der beiden Spektralbereiche Gelb und Infrarot 2 Objektive und 4 Sensorzeilen; die Bodenauflösung beträgt 20m-20m (siehe dazu auch Literaturhinweise: Schmidt, W.). Um diese größere geometrische Auflösung mit der besseren spektralen Auflösung der



LANDSAT-Systeme zu koppeln, verwendet man häufig Kombinationen von beiden Datensätzen. Im Jahre 1982 wurde das neue Sensorsystem "Thematic Mapper" (TM) mit LANDSAT 4 in eine Umlaufbahn gebracht. Es arbeitet zwar auch mit dem opto-mechanischen Prinzip, erreicht aber eine Bodenauflösung von 30 m-30 m. Noch wichtiger ist die bessere spektrale Auflösung. Das TM-System arbeitet mit 7 schmalbandigen Spektralbereichen (Kanälen), die erst genaue Zuordnungen (Vegetationsarten, Böden ...) möglich machen:

Kanal 1 (0,45...0,52 $\mu\text{m}$ ):	Anwendung für Küstengewässer, dringt etwas in Wasser ein
Kanal 2 (0,52...0,60 $\mu\text{m}$ ):	Unterscheidung Boden/Vegetation
Kanal 3 (0,63...0,69 $\mu\text{m}$ ):	entspricht etwa dem MSS-Kanal 4
Kanal 4 (0,76...0,90 $\mu\text{m}$ ):	entspricht etwa dem MSS-Kanal 5
	ist gegenüber dem MSS-Kanal 6 weiter ins Infrarot abgesetzt

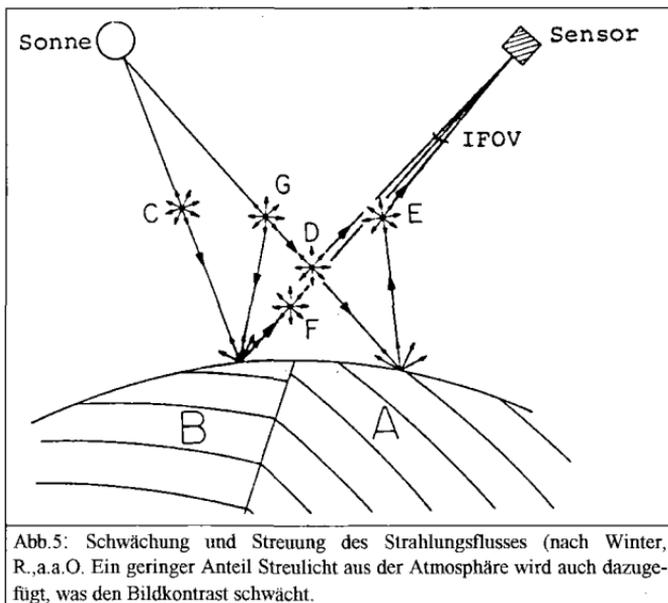


Abb.5: Schwächung und Streuung des Strahlungsflusses (nach Winter, R., a.a.O. Ein geringer Anteil Streulicht aus der Atmosphäre wird auch dazugefügt, was den Bildkontrast schwächt.

Die Kanäle 2,3 und 4 dienen hauptsächlich der Untersuchung der Vegetation. Kanal 2 erfasst das Maximum der Grünreflexion, Kanal 3 das Minimum und Kanal 4 das infrarote Maximum der Chlorophyllreflexion.

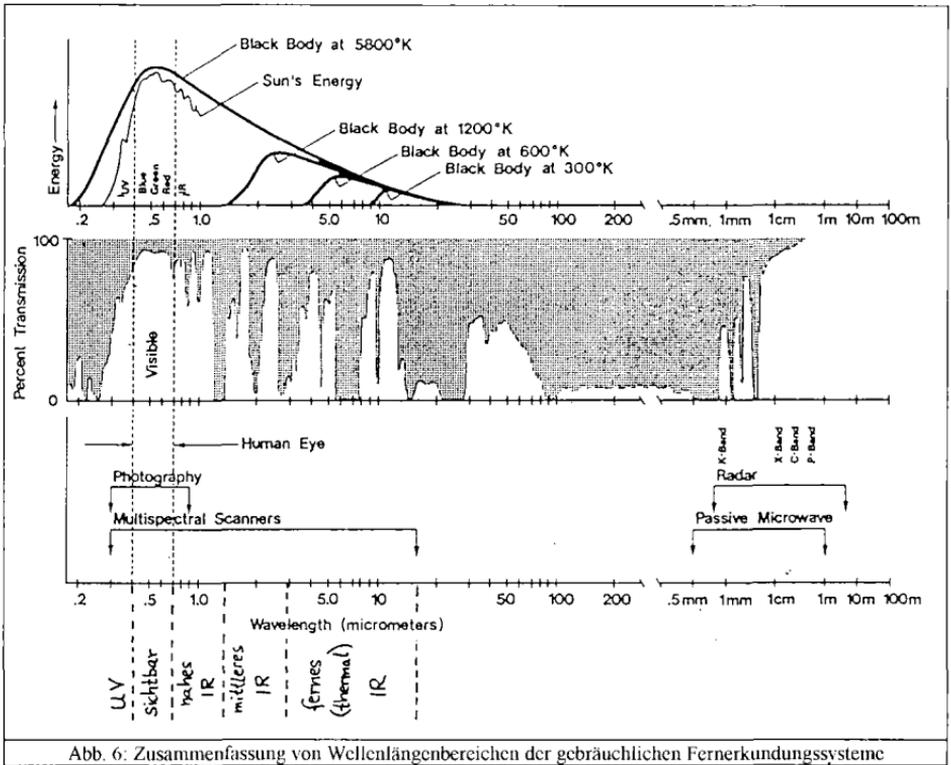
Kanal 5 (1,55...1,75 $\mu\text{m}$ ):	Feuchtigkeitsindikator für Böden und Vegetation
Kanal 6 (10,40...12,40 $\mu\text{m}$ ):	Thermalkanal mit reduzierter geometrischer Auflösung
Kanal 7 (2,08...2,35 $\mu\text{m}$ ):	unterscheidet Gesteinsarten (geologische Anwendungen)

### 1.3 Spektrale Information - Erfassung und Deutung

Im folgenden soll genauer betrachtet werden, wie der Sensor "Licht" verschiedener Wellenlängen erfasst und welche Information darin enthalten sind.

#### Der Weg der Strahlung von der Erde zum Sensor

Die Strahlung der Sonne wird auf dem Weg zur Erde in der Atmosphäre teilweise gestreut und absorbiert (Abb. 5). Ein Bodensegment B wird durch den direkten Strahlungsfluß, aber auch durch den gestreuten Strahlungsfluß (z.B. bei G) beleuchtet. Dieses Bodensegment reflektiert wiederum nur einen Teil des einfallenden Strahlungsflusses in Richtung des Sensors. Zusätzlich emittiert die aufgewärmte Erde thermische Strahlung. Auf dem Weg durch die Atmosphäre werden von der Strahlung des Bodensegments wieder Anteile absorbiert und gestreut.



## Die Wellenlängenbereiche der Strahlung

Der sichtbare (optische) Teil des Spektrums elektromagnetischer Wellen liegt zwischen 0,3 m und 15 m. Für den längerwelligen Infrarotbereich haben sich verschiedene begriffliche Zuordnungen eingebürgert:

UV-Strahlung	0,30 - 0,38 $\mu\text{m}$
Sichtbare Strahlung	0,38 - 0,72 $\mu\text{m}$
Reflexionsbereich Infrarot.	0,72 - 3,00 $\mu\text{m}$
Thermisches Infrarot	7,00 - 14,00 $\mu\text{m}$

Alternative Beschreibung im Infrarotbereich:

Nahes Infrarot	0,72 - 1,3 $\mu\text{m}$
Mittleres Infrarot	1,30 - 3,0 $\mu\text{m}$
Fernes Infrarot	7,00 - 15,0 $\mu\text{m}$

Die von der Sonne einfallende Strahlung liegt größtenteils im sichtbaren Bereich des Spektrums (Abb. 6), ein kleiner Teil gehört zum Infrarot-Bereich, weil die Atmosphäre hier stark absorbiert (gleichbedeutend mit geringer Transmission). Von einer Bodenfläche reflektierte Energie wird all-

seits abgestrahlt, nur ein sehr geringer Teil gelangt zum Fernerkundungssensor. Bei Wellenlängen unterhalb von  $3,0 \mu\text{m}$  spricht man vom Reflexionsbereich des elektromagnetischen Spektrums, darüber vom Emissionsbereich; die Strahlungsenergie kommt hier vom erwärmten Objekt. Die Erwärmung ist eine Folge der von der Erde absorbierten Strahlungsenergie. Die Abstrahlung der Erde entspricht in etwa der eines schwarzen Körpers der Temperatur  $300 \text{ K}$  ( $27 \text{ C}$ ). Die Emission dieser thermischen Infrarotstrahlung beginnt etwa bei  $4,5 \mu\text{m}$  und fällt nach dem Maximum bei  $9,7 \mu\text{m}$  wieder ab; für höhere Temperaturen verschiebt sich das Maximum zu kürzeren Wellenlängen.

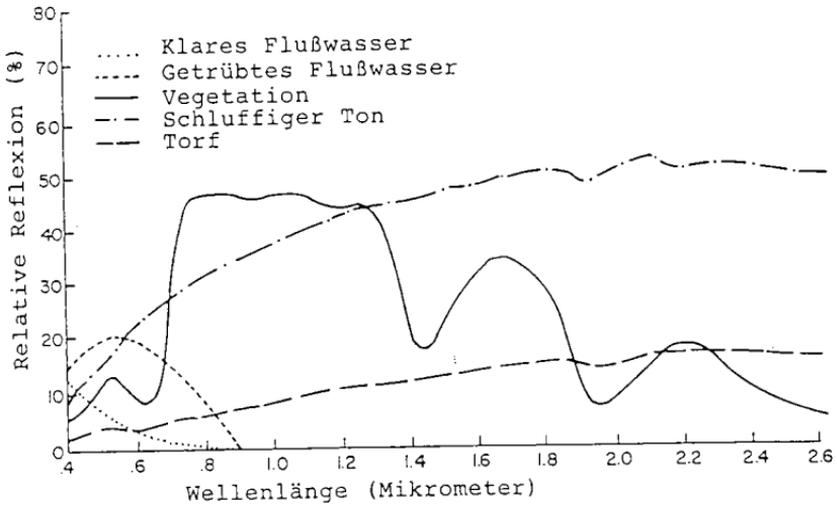
Für die Sensorsysteme muß man Spektralbereiche auswählen, für die die Erdatmosphäre durchlässig ist (sog. atmosphärischen Fenster) Hohe Transmission ergibt sich z.B. auch für das Maximum der von der Erde emittierten thermischen IR-Strahlung. Ferner bestimmt das Aufgabengebiet des Satelliten die Wahl der Spektralbereiche; sie müssen deutlich die zu untersuchenden Strukturen (Böden, Vegetation ...) unterscheiden.

### **Die Spektralbereiche der Fernerkundungssysteme**

Die unterschiedliche Reflexion von Strukturen der Erdoberfläche in einzelnen Spektralbereichen kann zur Identifizierung genutzt werden. Abb. 7 zeigt die Reflexion des eingestrahltten Sonnenlichts von einigen wichtigen Strukturen und die spektralen Kanäle, wie sie der LANDSAT TM benutzt. Klares Wasser absorbiert oberhalb  $0,8 \mu\text{m}$  das Sonnenlicht fast vollständig, deshalb zeigt Wasser nur in den ersten 3 Kanälen eine merkliche Reflexion des Sonnenlichts, deren Intensität von der Trübung abhängt. Gewässerflächen lassen sich so im Gelände leicht identifizieren. Darüberhinaus läßt sich aber auch klares Wasser von Wasser mit Trübstoffen sehr deutlich unterscheiden, wenn man den Kanal 4 wählt. Hier liegt auch das Maximum der Chlorophyllreflexion, Vegetation kann so von Böden klar getrennt werden. Die Beispiele zeigen, wie man durch geschickte Wahl der Spektralkanäle Information gewinnen kann. Die spektrale Auflösung des Landsat MSS Systems ist geringer, weil es nur 3 anstatt 7 Spektralkanäle zur Verfügung hat. Der Kanal 6 des TM-Systems liegt im thermischen Infrarot, also oberhalb der Darstellung in Abb. 7. Der Kanal 6 unterscheidet sich grundsätzlich von den anderen, weil er über die Thermalstrahlung die Eigenwärme der Erdoberfläche aufnimmt und somit Oberflächentemperaturen registrieren kann. In diesem Bereich wäre eine Trennung Wasser und Böden schwierig bzw. unmöglich. Reine Thermalaufnahmen werden zumeist in Blau- (kalt) und Rottönen (warm) eingefärbt. Häufig färbt man die Graubilder der drei sichtbaren Spektralbereiche so ein, daß beim Kombinieren ein naturnahes Farbkomposit entsteht, das aber trotzdem ein Falschfarbenbild ist.

### **Die Reflexionseigenschaften der Vegetation**

Die unterschiedliche Reflexion der Vegetationsarten in verschiedenen Spektralbereichen wird zur Identifikation von Bodenbedeckungsarten benutzt. Die Reflexionskurven für grüne Blätter zeigen eine ähnliche Struktur (Vegetation in Abb. 7):

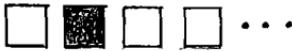


Bandbelegung      Spektralbereich in  
LANDSAT TM      Mikrometer

1	0,45 – 0,52	Blau
2	0,52 – 0,60	Grün/Gelb
3	0,63 – 0,69	Rot
4	0,76 – 0,90	Nahes Infrarot
5	1,55 – 1,75	Mittleres Infrarot
6	10,40 – 12,40	Thermales Infrarot

Abb.7: Reflexionsvermögen der Hauptbodenbedeckungsarten

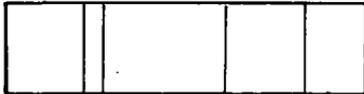
- Das Reflexionsvermögen im Sichtbaren ist relativ niedrig; verantwortlich dafür sind die beiden Chlorophyll-Absorptionsbanden bei 0,45  $\mu\text{m}$  und 0,65  $\mu\text{m}$ . Die grüne Farbe des Blattes ist das Ergebnis der starken Absorptionen im "blauen" und "roten" Wellenlängenbereich.
- Das Reflexionsvermögen im nahen IR von 0,7  $\mu\text{m}$  bis 1,3  $\mu\text{m}$  ist hoch; das Blatt absorbiert hier fast nicht.
- Die ausgeprägten Strukturen im mittleren IR bei 1,4  $\mu\text{m}$ , 1,9  $\mu\text{m}$  und 2,6  $\mu\text{m}$  sind bedingt durch die starke Wasserabsorption.



1728 Fotzellen (Sensorelemente)

16  $\mu\text{m}$

Spektralbereiche

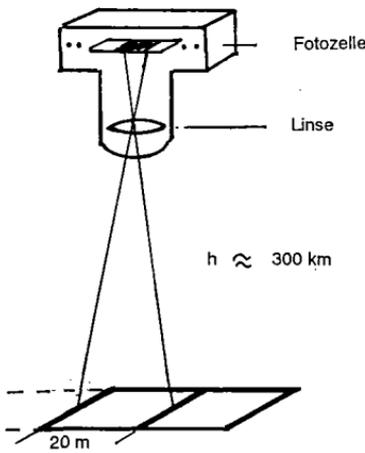


GELB

IR

Empfindlichkeit

Maximales elektrisches Signal  
bereits bei einer Lichtleistung  
von  $1,36 \cdot 10^{-10}$  W auf die Fläche  
einer Fotozelle

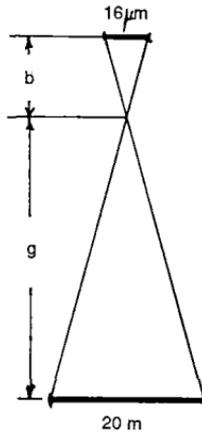


Fotozelle

Linse

$h \approx 300$  km

20 m



16  $\mu\text{m}$

b

g

20 m

ABBILDUNG

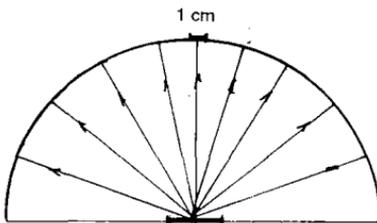
Ergebnis:

$$b \approx$$

$$f \approx$$

Fläche der Blendenöffnung  $A_{Bl}$  1  $\text{cm}^2$

Fläche der Halbkugel  $A_{HK}$



1 cm

LEISTUNGSFÄHIGKEIT

$$\frac{A_{Bl}}{A_{HK}} \approx 1,8 \cdot 10^{-16}$$

auf eine Fotozelle treffende  
Lichtleistung

$$P_S \approx 4 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

(Schwächungen durch Absorption und  
Streuung wurden mit einem Faktor  
von 0,7 berücksichtigt.)

Quelle: nach Schmidt W., Physikaufgaben, Beispiele aus der modernen Arbeitswelt, Klett Verlag, Stuttgart 1986, S. 79 - 83

Abb.8: Empfindlichkeit elektronischer Satellitenkameras am Beispiel von MOMS

Dieses charakteristische Reflexionsspektrum ändert sich mit dem Alter, dem Wassergehalt und dem Vitalitätsgrad der Pflanze. Waldschäden, die sich durch Nadelverlust bemerkbar machen, sind durch

die Fernerkundung erfäßbar, weil an diesen Stellen die Reflexion des Bodens stärker hervortritt. Um verschiedene Baumarten mit der Fernerkundung aufgrund des Reflexionsvermögen klassifizieren zu können, müssen die Unterschiede typisch und von den Sensoren erfäßbar sein.

## 2. Anwendungen im Unterricht

Neben den Berechnungen zu Satellitenbahnen kann das Fach Physik Hintergrundinformationen zu den Abtast- und Aufnahmesystemen liefern. Zur Fernerkundung der Erde findet man viele Aufgaben bei W. Schmidt (siehe Literaturhinweise). Die Abb. 8 zeigt ausgewählte Aspekte dieser Aufgaben zum Abtastsystem MOMS. Das Herz dieser elektronischen Kamera ist ein Fotosensor, der aus 1728 linear aufgereihten winzigen Fotoelementen (Solarzellen) besteht. Jedes Element ist quadratisch mit  $16\ \mu\text{m}$  Seitenlänge und gibt bei einer Beleuchtung mit nur  $136\ \text{pW}$  Lichtleistung das volle elektrische Signal ab. Die Signalgröße wird in  $2^7 = 128$  Stufen (7 bit) eingeteilt, d.h. in digitale Form umgewandelt. Die Empfindlichkeit moderner elektronischer Satellitenkameras wird ebenfalls bei W.

Schmidt dargestellt. Ein  $20\ \text{m} \times 20\ \text{m}$  großes Bodenpixel wird mit dem gelben Anteil der reflektierten Sonnenstrahlung beleuchtet. Unter Berücksichtigung der Absorption in der Atmosphäre und der Verteilung der Streustrahlung auf eine Halbkugel ( $r = 300\ \text{km}$ ) läßt sich errechnen, daß auf  $1\ \text{cm}^2$  Blendenöffnung nur etwa  $4\ \text{pW}$  Lichtleistung treffen. (Zum Vergleich: Eine Taschenlampenbirne mit  $1\ \text{W}$  Lichtleistung liefert in ca.  $8000\ \text{km}$  dieselbe Lichtleistung auf  $1\ \text{cm}^2$  Fläche.)

Gestattet es die Rechnerausstattung der Schule, so läßt sich die Auswertung von Fernerkundungsdaten, mit Hilfe eines entsprechenden Programms, sehr schön an einem PC zeigen. In einem Pilotprojekt werden an zahlreichen Schulen in der Bundesrepublik mit dem Programm IDRISI (siehe Literaturhinweis) Erfahrungen in dieser Richtung gesammelt. Genauere Auswertungen durch Schüler dürften jedoch, wegen des großen Zeitaufwandes, nur in Arbeitsgemeinschaften oder Projektgruppen möglich sein.

### Literaturhinweise und Medienempfehlungen:

IDRISI, The Graduate School of Geography, Clark University, 950 Main Street, Worcester, MA 0610

Als Hardwarevoraussetzung wird mindestens ein 286 AT mit 20 MB Festplatte, 512 kb Ram und einer Graphikkarte (Hercules, CGA, EGA, VGA oder 8514/A) benötigt. Ein schneller und unkomplizierter Einstieg wird durch ein zweibändiges Handbuch und ein ausführliches Tutorial mit beigefügten Beispieldatensätzen (Landsat MSS/TM-Daten, NOAA-Daten, Höhenmodelle, etc.) ermöglicht.

Die Verarbeitung und Auswertung von Fernerkundungsdaten wie Satellitendaten oder gescannte Luftbilder bildet einen wesentlichen Anwendungspunkt in IDRISI. Die digitale Bildverarbeitung schließt die verschiedenen Verfahren zur Bildverbesserung (Histogrammstreckung, Kontrastanhebung, Filterung etc.) ebenso mit ein wie unüberwachte (Cluster) und überwachte Bildklassifikationen. IDRISI unterstützt die Abfrage nach bestimmten räumlichen Kriterien und führt Oberflächenanalysen auf der Basis eines digitalen Höhenmodells (z.B. Berechnung von Hangneigung und -richtung, Analyse von Wassereinzugsgebieten und Sichtbarkeitszonen) und Distanzoperationen (z.B. zur Ermittlung von Entfernungen, "Kostenoberfläche" und Standortsuche) durch. IDRISI ist eine preiswerte und leistungsfähige AI-

ternative für große professionelle GIS-Systeme besonders in den Bereichen Klimatologie, Geologie, Hydrologie, Geobotanik, Raumplanung und im Umweltschutz. Der Preis für Schulen beträgt ca. 800.- DM.

Für weitere Informationen wenden Sie sich an:

GEOSPACE Satellitenbilddaten GmbH, ISY-IDRISI-Projekt, Siemensstraße 8, 5300 Bonn 1, Telefon: 0228/627382.

Maetzel, R. (Hrsg.), Satellitenbilder im Unterricht, Einführung und Interpretation, Orbit Verlag, Bonn 1989

Das Medienpaket enthält hochwertige Folienbilder für den zeitgemäßen Geographieunterricht. Zu jedem Bild werden technische Angaben für die Bildinterpretation gegeben. Die unterrichtliche Einsatzmöglichkeiten werden in gut gegliederten Interpretationstexten aufgezeigt. Für viele Bilder liegen topographische Grundgerüste als Kopiervorlage oder als Overlayfolie bei. Ausführliche didaktische Hinweise in den Lehrertexten und eine Auflistung möglicher Unterrichtsthemen machen die Bilder zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel. Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig: von der Orientierung über einfache Strukturen und Zusammenhänge bis hin zu Spezialthemen. Die Schülertexte zur Aufnahmetechnik sind sowohl für Schüler mit physikalischen Grundkenntnissen als auch für Schüler der Mittel- und Unterstufe ausgearbeitet.

Schmidt, W., Physikaufgaben mit Bezug zur modernen Arbeitswelt, S.78-83, Klett Verlag Stuttgart 1988

Es wird in Teilaufgaben gezeigt, wie eine elektronische Satellitenkamera im optischen Spektralbereich arbeitet. Die einführenden Teilaufgaben zu Abbildungseigenschaften eignen sich bereits für die Mittelstufe, die Aufgaben zu Sensoren und spektraler Trennung sind für die Oberstufe gedacht.

Im selben Werk findet man auf S.178-181 auch Material zur Technik des ESA Remote Sensing Satellite (ERS-1) für den Physikunterricht der Oberstufe. Dieser Satellit untersucht von einer polnahen sonnensynchronen Kreisbahn aus die Meeres- und Küstenregionen hinsichtlich Wetter, Wind, Wellen, Eis, Schnee, Oberflächentemperatur und Höhenprofil. Zusätzlich macht er hochauflösende Bilder. Die Aufgaben zeigen, wie dies alles mit einer ausgeklügelten Mikrowellentechnik möglich ist.

Bähr, H.P. (Hrsg.), Digitale Bildverarbeitung, Anwendung in Photogrammetrie und Fernerkundung, Wichmann Verlag, Karlsruhe 1985

Das Buch enthält neben Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung auch spezielle anwendungsbezogene Kapitel, sowie mathematisch anspruchsvolle theoretische Hintergründe.

Winter, R., Anwendungs- und Aufgabengebiete satellitengestützter Fernerkundung, Lehrveranstaltung am Inst. für Geographie der LMU München, Wintersem. 1990/91

Geographische Rundschau, Jahrg.41, Heft 12, Dez. 1989, Westermann Verlag, Braunschweig

Das Sonderheft zur Fernerkundung stellt verschiedene Fernerkundungssysteme vor. Anhand von Beispielen werden spezifische Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt wie z.B.:

- Meteosat, Wolkenbewegungsszenen
- Abschätzung des Weidepotentials in ariden Gebieten Kenias
- Topographische Datensätze aus SPOT-Aufnahmen

Winter, R., Beckel, L. (Hrsg.), GEO-Satellitenbildatlas Deutschland, RV Reise- und Verkehrsverlag GmbH, München 1991

Der Atlas bezieht sich auf die geodätischen Grundlagen der amtlichen deutschen topographischen Kartenwerke und ist die erste flächendeckende exakt-raumbezogene bildhafte Bestandsaufnahme Deutschlands an einem Wendepunkt der Geschichte. Neben hochwertigem, farbigen Bildmaterial wird auch eine landeskundliche historische Einführung gegeben.

Bei den **DLR Forschungszentren** in Braunschweig, Göttingen, Oberpfaffenhofen, Stuttgart und Köln-Porz können zu den verschiedensten aktuellen Forschungsprojekten kostenlos kurze Projektbeschreibungen und sonstiges Informationsmaterial bezogen werden. Die Einsatzmöglichkeiten von Satelliten zur ökologischen Kartierung zeigen kurze Projektbeschreibungen der DLR:

- Algen in der Adria
- Überschwemmungen in Argentinien
- Insektenfraß
- Langzeitbeobachtungen des arkt. Meereises
- Beiträge zur Waldschadensforschung

Ähnliche Themen enthält auch die Diaserie RS4 des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums der DLR. Vielfältige Anwendungen der Fernerkundung zeigen auch die Tagungsbände der Nutzerseminare des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums der DLR in 8031 Oberpfaffenhofen.

Nützlich ist die Adresse der Zentrale der DLR:

Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V., Linder Höhe, Köln 90