

## Satellitenbilder – Technologische Informationen und praktische Hinweise für den Einsatz im Unterricht

### 1. Fernerkundung und das neue Bild der Erde

**Satellitenbilder** sind aus dem zeitgemäßen GW-Unterricht nicht mehr wegzudenken. Kein Schulbuch, kein Atlas verzichtet auf dieses moderne und vergleichsweise (d.h. im Vergleich zu Karte und Luftbild) neue Medium. Von CD-ROMs sind Bilddaten abrufbar, und auch im Internet werden diese umfangreich angeboten.<sup>1</sup> Eine einfache Bilddatenverarbeitung am PC ist für den Projektunterricht aufgrund von Gratis-Software („public domain“) durchaus möglich. Was macht die Faszination der Satellitenbilder aus, wo liegen ihre Möglichkeiten und zugleich Grenzen als Medium im Unterricht, und welches technologische Wissen ist notwendig, um Fernerkundung sachgerecht zu verstehen. Davon handelt der folgende Beitrag dieses Buches.

Satellitenbilder sind ein Produkt der **Fernerkundung** (engl. „Remote Sensing“). Dieser Begriff bezieht sich auf die Datenerfassung über (große) Distanzen, auf das berührungsfreie Messen von Objektmerkmalen. In der **Erdbeobachtung** versteht man darunter die Erfassung von Sachverhalten auf der Erdoberfläche, ermittelt vom Weltraum aus. Bildhafte Informationen durch berührungsfreies Messen haben auch in anderen Fachbereichen große Bedeutung erlangt (Computertomographie, Röntgenbilder, Ultraschallbilder in der Medizin, technologische Materialprüfverfahren in der Güterproduktion). Satellitenbilder beruhen in der Regel auf **digitalen Daten**, die, in einem Datenraster zusammengesetzt, den Eindruck eines Bildes (Image) vermitteln. Aber auch **photographische Aufnahmen** aus dem Weltraum werden als Satellitenbilder bezeichnet.

Wie häufig in anderen Bereichen auch, liegt die Wurzel der Satellitenbildtechnologie im militärischen Bereich, in den Spionageinteressen der Großmächte in den Nachkriegsjahrzehnten (Kalter Krieg). Die Technologie des seit 1984 auch für zivile Anwendungen aktiven amerikanischen Systems LANDSAT TM („Thematic Mapper“, USA) wurde zuvor jahrelang vom Militär nicht freigegeben. Voraussetzung für die Fernerkundung waren zum einen die Verfügbarkeit von **Trägerraketen**, die Satelliten in eine Umlaufbahn zu befördern imstande sind, und zum anderen die Entwicklung der **digitalen Technologie**, die Bilddatenerfassung sowie die Speicherung und Übertragung von großen Datenmengen. Es versteht sich, daß besonders hoch auflösende Systeme auch heute noch dem Militär vorbehalten sind. Weil in Rußland die digitale Technologie nicht so entwickelt war, hat man sich dort auf photographische Verfahren konzentriert. So verfügen wir heute über hervorragende russische Weltraumphotographien, die detailreicher sind als die meisten der digitalen Rasterdatenbilder der westlichen Technologie.

---

<sup>1</sup>) Z.B. die **CD-ROM** „Österreich aus dem All 3D“ der Herold Business Data AG. Im **Internet** kann man Satellitenbilder beispielsweise vom Deutschen Klimarechenzentrum (<<http://www.dkrz.de/sat>>) abrufen (dort auch zahlreiche Links zu anderen Adressen). Unter <<http://www.edu.uni-klu.ac.at/~cgallobi/geo/links.htm>> bieten die Universität Klagenfurt und unter <<http://www.sbg.ac.at/geo/student/fernerkundung/index.htm>> die Universität Salzburg Satellitenbilder sowie eine „Einführung in die Fernerkundung“ an.

## SATELLITENBILDER IM UNTERRICHT

Abseits von Technologie und Genese der Weltraum-Fernerkundung nun eine Würdigung der Fernerkundung aus der Sicht der „Geo-Graphie“, der Erdbeschreibung. Faszinierend waren bereits die ersten Photographien aus dem Weltall in den sechziger Jahren, die den gekrümmten Horizont und die dünne Hülle der Erdatmosphäre zeigten. Noch heute, mehr als dreißig Jahre später, haben die Bilder der amerikanischen Gemini- und Apollo-Raumfahrtprogramme nichts von ihrer Unmittelbarkeit eingebüßt.

In den siebziger Jahren wurde das Erdbeobachtungssystem LANDSAT MSS (Multi-spektraler Scanner, USA) in eine Umlaufbahn gebracht und das Zeitalter der Satellitenbilder begann. Regionale Ausschnitte der Erdoberfläche, 180 x 180 km umfassend, photoartig detailliert (Bildpunkt: 80 x 80 m), wurden in unterschiedlichen Spektral- und Farbkombinationen bekannt, und etwas grundsätzlich Neues war damit geschaffen: ein *neues Bild der Erde*, ein Gegenstück zur selektiven Kartographie, ein Instrumentarium zur globalen Erdbeobachtung. Der Unterschied zwischen Satellitenbild und Karte ist in Abb. 1 festgehalten.

**Abb. 1: Karte und Satellitenbild, zwei unterschiedliche Modelle der Erdoberfläche**

<b>Merkmalsbereich</b>	<b>topographische Karte</b>	<b>Satellitenbild</b>
Darstellung des Realraumes	Reduktion der Vielfalt des Realraumes auf eine überschaubare Zahl von Inhaltsklassen und Objekten. Selektive Information	Die Vielfalt des Realraumes wird fotoartig detailliert wiedergegeben. Holistische Informationsfülle
Zusatzinformationen	umfangreiche Informationserweiterung, z.B. durch Höhenlinien, Namengut usw.	Zusatzinformationen fehlen a priori, sie sind nur in Satellitenbildkarten enthalten
Inhaltsklassen	limitierte und in der Legende definierte Zahl von Objektklassen und Landoberflächenkategorien, ohne saisonalen Aspekt	unbestimmt, verschiedenen Interessenbereichen (Fachbereichen) zugehörig, mit Aspekt des Aufnahmezeitpunktes
Generalisierung	räumliche und inhaltliche Generalisierung durch kartographische Tätigkeit	keine Generalisierung, aber Detailverlust in Abhängigkeit von der Pixelgröße
Erscheinungsbild	klare und übersichtliche Kartengestaltung, optimale visuelle Wahrnehmbarkeit. Technische Beleuchtung (NW)	vielfarbiges Halbtonbild mit z.T. kleinräumigem Wechsel von Farb- und Tonwerten. Natürliche Beleuchtung (S, SO)
Lesbarkeit, Informationsextraktion	Inhaltskategorien liegen klassifiziert und eindeutig vor (Farben, Signaturen, Symbole, Legenden)	Inhaltskategorien durch Interpretationsschlüssel erklärt, Detailinformationen erschließen sich durch weitere Interpretationstätigkeit

## 2. Was man von der Technologie der Fernerkundung wissen soll

### 2.1 Physikalische Grundlagen

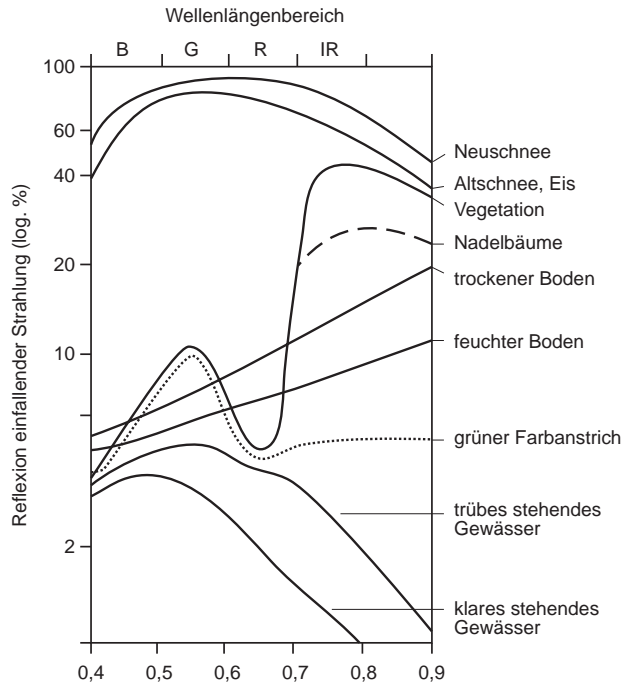
In diesem Kapitel wird erläutert, in welcher Form die Sensoren der Fernerkundungssatelliten „sehen“. Dazu wollen wir uns vergegenwärtigen, daß auch das Farbsehen des menschlichen Auges auf den gleichen physikalischen Grundsätzen beruht: ein bestimmter Ausschnitt aus dem Bereich elektromagnetischer Wellen wird als **sichtbares Licht** empfunden. Für elektromagnetische Wellenlängen von 0,4  $\mu\text{m}$  bis 0,68  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ) sind die Sehzellen der Retina des Auges empfindlich, wobei die von Gegenständen reflektierte Strahlung empfangen wird. Mit der Wellenlänge ändert sich das sichtbare Licht von Blau über Grün und Gelb zu Rot, eine Mischung ergibt Weiß, fehlende Strahlung ergibt Schwarz (additive bzw. subtraktive Farbmischung).

Kürzere Wellenlängen sind als Ultraviolette Strahlen (UV-Strahlen), noch kürzere als Röntgenstrahlen bekannt, beide für die Fernerkundung jedoch ohne Bedeutung. Von großer Bedeutung dagegen ist das **Nahes Infrarot** (0,7–1,5  $\mu\text{m}$ ), welches wellenlängenmäßig an das Rot des sichtbaren Lichtes anschließt und z.B. für Insekten noch im Bereich des Sichtbaren liegt. Die erwähnte Bedeutung liegt in der Anzeige von unterschiedlichen Zuständen und Intensitäten lebender Vegetation. Wie Abb. 2 zeigt, ist die Reflexion des einfallenden Lichtes durch Vegetation (grünes Blattwerk) im Bereich des Nahen Infrarot besonders kräftig. Die Vegetationsdifferenzierung (Bewuchsunterschiede, Waldschäden, Ernteabschätzungen) gelingt in diesem Bereich besonders gut. Zunächst wurde dieser Spektralbereich im **Farbinfrarotfilm** nutzbar gemacht, dort erscheint vitale Vegetation in kräftigen Rottönen. Aber auch keinem der digitalen multispektralen Aufnahmegeräte in den Satelliten fehlt der Spektralbereich des Nahen Infrarot. Als **Mittleres Infrarot** wird der Wellenlängenbereich zwischen 1,5  $\mu\text{m}$  und 3  $\mu\text{m}$  bezeichnet, die Kanäle (Spektralbereiche) 5 und 7 des Systems „LANDSAT Thematic Mapper“ (TM) erfassen hier Informationen z.B. über den Feuchtigkeitsgehalt der oberflächennahen Bodenschicht.

Im Bereich des sichtbaren Lichtes und des Nahen und Mittleren Infrarot wird die objektspezifische **Reflexion** des Sonnenlichtes gemessen. Die zugehörigen Systeme werden daher als **passive Systeme** bezeichnet. Ebenfalls passiv arbeiten die Detektoren, die die **Wärmestrahlung** aufzuzeichnen vermögen. Wärmestrahlung oder **Thermisches Infrarot** ist die vergleichsweise langwellige (Wellenlängen 3–15  $\mu\text{m}$ ) Abstrahlung von Oberflächen in Abhängigkeit von der Objekttemperatur. Wärmestrahlung und Thermisches Infrarot haben nichts mit der Reflexion des Sonnenlichtes zu tun. Wärmebilder können daher auch nachts aufgenommen werden. Werden sie tagsüber aufgenommen, dann zeigen sie die von der Sonne erwärmten Oberflächen. Detektoren für Wärmestrahlung werden den passiven Systemen zugezählt.

Im Gegensatz dazu stellt das **Radar-Verfahren** ein **aktives System** dar: Elektromagnetische Wellen werden von einem Sender abgestrahlt, und das objektspezifisch unterschiedliche „Echo“ wird aufgezeichnet und zu bildhafter Information verarbeitet. Radar-Systeme arbeiten im Mikrowellenbereich, bei Wellenlängen von 1 mm bis 1 m (längerwellig schließen Radiowellen an).

**Abb. 2: Unterschiede der Reflexion verschiedener Oberflächen in Abhängigkeit vom Spektralbereich**



B, G, R = Farben des sichtbaren Lichtes (Blau/Grün/Rot); IR = Bereich des Nahen Infrarot.  
Wellenlängen in µm.

Quelle: TOWNSHEND 1981.

## 2.2 Technologische Grundlagen

**Sensoren und Satelliten** sind die operativen technischen Einheiten eines Fernerkundungssystems. Satelliten werden mittels Trägerraketen oder z.B. durch ein „Space Shuttle“ in eine **Erdumlaufbahn** gebracht. Bei den klassischen Erdbeobachtungssystemen (LANDSAT, SPOT) ist die Bahn polnahe (Aufnahmen bis 85° nördl. Breite möglich), die Umlaufbahn der NOAA-Wettersatelliten verläuft über die Pole. Fluggeschwindigkeit und Flughöhe sind so aufeinander abgestimmt, daß der Satellit bestimmte Erdstellen in gleichen zeitlichen Abständen (z.B. LANDSAT: 16 Tage) und zur gleichen Ortszeit (z.B. Landsat über Mitteleuropa: 10:30 Uhr) überfliegt (Flughöhe 700 km). Dadurch können Informationen über Veränderungen auf der Erdoberfläche („change detection“) gewonnen werden. „Geostationäre“ Satelliten stehen scheinbar am Himmel still, weil sie sich mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit bewegen wie die rotierende Erde. Sie können von stabilen Satellitenantennen angepeilt werden (Fernsehsatelliten) bzw. liefern ein Bild von Prozessen auf der Erde (Wettersatellit METEOSAT). Zwangsläufig befinden sich geostationäre Satelliten in einer äquatorialen Umlaufbahn (Neigung der Antennen daher flach!). METEOSAT befindet sich in 36.000 km Höhe (dreifacher Erddurchmesser), er bildet daher eine Erdhälfte nicht vollständig ab.

Auf den schönen Bildern von der Zeit der Tag- und Nachtgleiche (gleiche Ausleuchtung der Nord- und Südhemisphäre) fehlen die Polregionen, und Afrika ist vergleichsweise zu groß dargestellt. Die Weltraumflugkörper tragen neben anderen technischen Geräten auch jene zur Erdbeobachtung (z.B. multispektrale Scanner); die Satelliten werden daher in bezug auf diese Meßgeräte auch als Plattformen bezeichnet.

Die Meßgeräte zur Erdbeobachtung können zum einen hochentwickelte photographische Instrumente sein, wie sie von der russischen Weltraumfahrt, aber auch bei amerikanischen Spezialmissionen verwendet wurden. In der Regel aber kommen **multispektrale Scanner** (MSS) und eine digitale Datenaufzeichnung zum Einsatz. Ein MSS besteht aus drei funktionalen Einheiten: Dem Sensor, der geräteinternen Datenverarbeitung und der Datenspeicherung bzw. -weitergabe. Der Sensor mißt für einen definierten Wellenlängenbereich (Spektralbereich, „Band“, „Kanal“) die Reflexion eines Stückes der Erdoberfläche (Pixel). Die Messung ergibt einen digitalen Datenwert. Geräteintern wird dafür gesorgt, daß

- (1) die an sich kontinuierliche Messung des Sensors in aneinandergereihte einzelne Pixelwerte zerlegt wird,
- (2) durch eine Bewegung des Sensors quer zur Flugrichtung des Satelliten ein Abtaststreifen definierter Breite entsteht (LANDSAT: 185 km),
- (3) dieser Aufnahmestreifen lückenlos abgetastet wird, wodurch eine Datenmatrix, ein Feld von Rasterdaten entsteht. Diese werden zunächst gespeichert und schließlich an die Bodenstationen übertragen, wo eine weitere Datenaufbereitung erfolgt.

Die spezifische Empfindlichkeit der Sensoren ist ein wesentliches Merkmal der verschiedenen Erdkundungssatelliten, ein anderes Merkmal ist die Pixelgröße, von der die „Schärfe“ des Rasterbildes abhängt. Diese und weitere Informationen zum Verständnis der Satellitenbilder bringt der folgende letzte Teil der technischen Erläuterungen.

### 2.3 Vom Meßwert zum Bild

Bei der Erdbeobachtung durch Fernerkundung werden zunächst für die einzelnen Spektralbereiche Rasterdaten (meist 8-bit-Information pro Bildpunkt) erfaßt. Diese werden mit einer geeigneten Bildverarbeitungssoftware als **Rasterbilder** visualisiert und am Monitor dargestellt. Dabei entsteht für jeden Spektralbereich zunächst ein **Grauwertebild**, dessen Kontrast durch Datenmanipulation noch verstärkt werden kann. Farbbilder kommen erst durch die Kombination von Grauwertebildern aus unterschiedlichen Kanälen, verbunden mit der Farbzuzuweisung (Monitorfarben: Blau, Grün, Rot) zustande. Farbbilder beruhen also stets auf multispektralen Daten. Eine „Echtfarbendarstellung“ liegt vor, wenn die Spektralbereiche der Aufnahme mit jenen der Wiedergabe übereinstimmen (z.B.: Geospace-Satellitenbilder). Weil aber die Welt aus sehr großer Höhe vielfach recht unbunt wirkt (vgl. etwa den Blick aus großer Flughöhe) und weil bestimmte Objekte mit besonderer Farbgebung besser zu differenzieren sind, wird vielfach eine **Falschfarbendarstellung** gewählt. Am bekanntesten ist die **Farbinfrarotdarstellung**. Die Farbbedeutung der „falschen Farben“ ist meist aus der Legende ablesbar.

## SATELLITENBILDER IM UNTERRICHT

Weil im Farbmonitor ebenso wie bei „analogen“ photographischen Verfahren nicht mehr als drei Farben zur Verfügung stehen (Blau, Grün, Rot), kann eine **Satellitenbild-Farbkomposite** stets nur aus drei Spektralkanälen bestehen. Die Kombination der Kanäle hängt von der Aufgabenstellung ab; sehr bewährt hat sich für die Erdbeobachtung die Kombination eines Kanals aus dem sichtbaren Bereich des Spektrums (z.B. Rot) mit dem Nahen Infrarot, ergänzt durch einen dritten Spektralbereich (z.B. Grün oder Mittleres Infrarot). Sowohl alle Farbwerte eines Satellitenbildes als auch die Helligkeits- und Kontrastunterschiede beruhen auf der Kombination der blauen, grünen und roten Farbwerte des Bildschirms bzw. des Satellitenbild-Diapositives, von dem weg ein Farbdruck erfolgt. Wie schon erwähnt, ergibt die Kombination hoher Farbwerte in allen drei Farbkanälen Weiß, bei Fehlen der drei Farbwerte entsteht Schwarz (subtraktive Farbmischung, Gegenteil der Farbmischung des Farbdruckes). Alle Farbmischungen beruhen auf der Kombination digitaler Rasterdaten.

Der Vorteil der **digitalen Technologie** besteht nicht nur darin, daß Rasterdaten (Bilddaten) vom Satellit zur Bodenstation und von dort z.B. via CD-ROM zu den Endbenutzern übertragen werden; die digitale Technologie erlaubt auch die Veränderung der Daten selbst, eine Datenverbesserung und Datenverarbeitung in mehrfacher Hinsicht. Dazu zählt die von den Betreiberfirmen durchgeführte geometrische (Vor-)Korrektur der Daten. Hier ein Wort zur **Geometrie von Satellitenbildern**: Im Gegensatz zur zentralperspektivischen Verzerrung bei Luftbildern liegt bei Satellitendaten eine geometrische Verzerrung quer zur Flugbahn vor. Aufgrund der großen Flughöhe (z.B. LANDSAT = 700 km) und der im Vergleich dazu geringen Höhenunterschiede auf der Erdoberfläche ist ein diesbezüglicher Bildpunktversatz jedoch gering und für den Gebrauch von Bildern im Unterricht vernachlässigbar. Eine exakte Anpassung der Bilddaten z.B. an topographische Karten erfolgt über gemeinsame Paßpunkte und eine nachfolgende Bilddatenverrechnung („*Rektifizierung*“). Dieser Prozeß ist notwendig, wenn die Bilddaten anderen räumlichen Daten überlagert werden sollen.

Wichtig für einen optimalen visuellen Eindruck ist zunächst die Auswahl der Spektralbereiche, die den Bildschirmfarben (Rot, Grün, Blau) zugeordnet werden (Echtfarben, Falschfarben). Daneben besteht die Möglichkeit zur **Bildverbesserung**. Dazu zählt die Kontrastverstärkung („*Streckung*“ der Datenwerte) ebenso wie z.B. das rechnerische Hervorheben von Kanten und Farbwertunterschieden. Dadurch wird die Strukturierung und Gliederung des dargestellten Raumes stärker hervorgehoben.

Als überaus brauchbare Methode der Bildverbesserung hat sich die Kombination von Daten unterschiedlicher visueller Qualitäten erwiesen, z.B. die Verknüpfung der farblich vielfältigen LANDSAT TM-Daten mit den hochauflösenden SPOT-PAN-Daten. In der Reproduktion (beim Druck) von Satellitenbildern wird dabei die SPOT-Information in schwarzer Farbe gedruckt.

Von besonderer Bedeutung sind aber die Möglichkeiten der **digitalen Bildverarbeitung**. Dabei werden multivariate Rechenverfahren (der Anzahl der unterschiedlichen spektralen Rasterdatensätze entsprechend) auf die Datenwerte einzelner Pixel und sukzessive auf das ganze Rasterdatenfeld angewendet. Ziel dieser komplizierten Rechenoperationen ist es, mittels multivariater Gruppierungs-Berechnungen Pixel (und schließ-

lich Flächen) mit ähnlichen Datenwerten zu finden – das heißt, eine rechnerische **Klassifizierung** und Differenzierung der Satellitendaten durchzuführen, um dem Betrachter die Mühe der Interpretation des Bildes zu nehmen. Dabei hat sich gezeigt, daß die Resultate bei kleinen Maßstäben (1:200.000 und kleiner) und bei voneinander gut abgesetzten Landnutzungsklassen zufriedenstellend sind, und daß etwa Wald und Gewässer, Felsflächen und dichte Bebauung mit sehr hoher Treffsicherheit rechnerisch erkannt werden können. Spezielle Verfahren der digitalen Bildverarbeitung sind in zahlreichen geo- und biowissenschaftlichen Wissenschaftsbereichen erfolgreich im Einsatz. Besonders spektakulär sind die neuartigen globalen oder kontinentweisen Übersichten über saisonale Vegetationsentwicklungen (Sahel-Problem), Meeresströmungen (El Niño-Phänomen) oder physikalische Parameter (Ozonloch).

#### **2.4 Technische Merkmale von Satellitenbildern**

Die Merkmale der Datensätze der verschiedenen Erdkundungssatelliten werden nach den Kriterien der räumlichen und spektralen „Auflösung“ (Genauigkeit) sowie nach geometrischen und temporalen Aspekten beschrieben.

Die **räumliche Auflösung** gibt an, wie groß die durch ein Bildelement (Pixel, Meßwert) dargestellte Fläche ist. So umfaßt ein Pixel bei LANDSAT TM 30 x 30 m, bei SPOT XS 20 x 20 m und bei SPOT-PAN 10 x 10 m. Die Pixelgröße bestimmt die Bildschärfe, d.h. die räumliche Auflösung. Mit zunehmender Auflösung wächst die anfallende Datenmenge quadratisch an, und zugleich nähert man sich der Bildqualität von im Flugzeug montierten Scannern bzw. von Luftbildern. Die räumliche Auflösung der Weltraumphotographien aus der russischen Raumstation MIR (Kamerasystem KFA 1000) ist übrigens besser als jene von SPOT.

Die **spektrale Auflösung** benennt die Spektralkanäle und die Wellenlängenbereiche, in denen diese aktiv sind. Kanäle im Bereich des sichtbaren Lichtes, im Nahen und Mittleren Infrarot liefern Bilder z.B. zur Differenzierung der Landnutzung. Das Thermische Infrarot zeigt Wärme- und Kälteanomalien (z.B. METEOSAT: hochreichende, „kalte“ Bewölkung als Gewitterzellen). Mikrowellenkanäle (Radar) funktionieren witterungsunabhängig, die dabei entstehenden Bilder sind jedoch vielfach im Detail schwer zu interpretieren. Zu den radiometrischen Merkmalen von Satellitenbilddaten zählt auch, ob Effekte der Erdatmosphäre, die in den pixelweisen Daten mit enthalten sind (Strahlungsgang durch die Atmosphäre), rechnerisch korrigiert wurden. Meist ist dies nicht der Fall. Die visuelle Interpretation wird dadurch meist nicht beeinträchtigt.

**Geometrische Aspekte** sind bei der visuellen Interpretation von Einzelbildern meist unbedeutend. Wenn aber Satellitenbildszenen zu einem Mosaik zusammengefügt werden oder wenn sie mit anderen Datenschichten (z.B.: topographischen Karten) verknüpft werden sollen (Overlay-Technik), dann sind geometrische Anpassungen, meist an definierte Kartenprojektionen, notwendig.

Die **zeitbezogenen** Aspekte betreffen zunächst den Bildinhalt: was bedeuten Jahreszeit und Tageszeit in bezug auf den Aussagewert des Bildes (phänologischer und regional-klimatologischer Status)? Häufig ist es sinnvoll, Aufnahmen aus unterschiedlichen Jah-

## SATELLITENBILDER IM UNTERRICHT

reszeiten zu verwenden. Daneben bezieht sich die „zeitliche Auflösung“ auf die Wiederholungsrate der Aufnahme und damit auf die Möglichkeit, durch Übereinanderlegung zeitungleicher Rasterdaten allfällige Veränderungen rasch feststellen zu können („change detection“). Der (auch militärische) Überwachungseffekt dieses Einsatzes von Satellitenbildern ist evident.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß es möglich ist, ein Satellitenbild aus Daten unterschiedlicher Satelliten zusammensetzen (Beispiel: gute spektrale Differenzierung aus LANDSAT TM und gute räumliche Auflösung aus SPOT). Durch die Kombination der Satellitendaten mit kartographischen Elementen wird aus dem Bild eine (leichter lesbare) Satellitenbildkarte.

### 3. Einige der derzeit bedeutenden Fernerkundungs-Satellitenfamilien

Eine Vielzahl von technisch zum Teil unterschiedlichen Erdbeobachtungs-Satelliten umkreist mittlerweile die Erde (1995: 12 Satelliten). Vor kurzem ist das indische Satellitensystem ISR hinzugekommen, und auch die Raumstation, mit deren Bau jüngst (1998) begonnen wurde, wird sich mit Erdbeobachtung befassen. Die bekanntesten und bisher (auch in der Schule) am stärksten verbreiteten Bilder und Daten stammen von den **LANDSAT**-Satelliten der USA, die auf einer fast polaren Umlaufbahn (Scheitelpunkt ca. 80° geogr. Breite) die Erde umkreisen und dabei jedes Gebiet der Erde zur gleichen Sonnenzeit und damit zu etwa gleichen Beleuchtungsverhältnissen überfliegen (sonnensynchrone Umlaufbahn, Überflug ca. 10:30 Uhr vormittags). LANDSAT 1 bis LANDSAT 3 umkreisen die Erde in 915 km Höhe; sie sandten zwischen 1972 und 1983 Daten für mehr als eine Million Bilder zu den Bodenstationen. Ein Bodenmeßpunkt (Pixel) hatte eine Seitenlänge von 80 m, eine Bildszene umfaßte eine Fläche von 180 x 180 km. Ab 1984 steht eine verbesserte Version zur Verfügung: LANDSAT TM („Thematic Mapper“, Satelliten LANDSAT 4 und 5). Bei einer Bahnhöhe von 705 km und einer erhöhten räumlichen Auflösung (Pixel 30 x 30 m) sowie mit mehreren Sensoren in den Infrarot-Bereichen ist damit ein Satellit weltweit zur Verfügung, dessen Daten auch ohne komplizierte Bildverarbeitung ein sehr differenziertes Bild der Erdoberfläche liefern. Der neueste Satellit, LANDSAT 7, hat eine höchste Bodenauflösung von 15 x 15 m.

Frankreich startete 1986 seine **SPOT**-Satelliten, die auch auf einer fast polaren Umlaufbahn kreisen (Bahnhöhe 830 km, Auflösung 20 x 20 m). Im multispektralen Modus verwendet SPOT drei Spektralkanäle. Der PAN- (panchromatische) Modus hat eine Bodenauflösung von 10 x 10 m. SPOT bedeutet: „Systeme Probatoire de Observation de la Terre“. Die Kombination von LANDSAT TM und SPOT-PAN-Daten liefert hervorragend scharfe Satellitenbilder. Satellitendaten sind nicht billig; für eine aktuelle Bildszene müssen je nach Spezifikation 28.000 bis 48.000 ÖS bezahlt werden. SPOT 5 mit einer Bodenauflösung 5 x 5 m wurde 1999 in einen Orbit gebracht.

Bei den Satelliten der **NOAA** (USA) sowie bei jenen der **METEOSAT**-Generation (Europa) handelt es sich um meteorologisch-hydrologisch orientierte Satelliten. Die NOAA-Satelliten („National Oceanic and Atmospheric Administration“) liefern großräumige Überblicke (Pixel: 1 x 1 km) über das Wettergeschehen (Bewölkung) und über



den Stand der Vegetationsentwicklung. Die bekannten Europa-Poster aufgrund von Fernerkundungsdaten stammen von NOAA-Satelliten. METEOSAT ist uns vom täglichen Wetterbericht im TV her bekannt. Der Satellit ist geostationär, d.h. er bewegt sich mit gleicher Winkelgeschwindigkeit um die Erde wie die rotierende Erde selbst. Daraus resultiert eine äquatorgleiche Bahnebene. Es gibt mehrere METEOSAT-Satelliten rund um den Äquator, „unserer“ steht in ca. 36.000 km Höhe über dem Golf von Guinea. Er überblickt einen Großteil der jeweiligen Erdkalotte (Ränder fehlen, weil Distanz nicht unendlich), und sendet halbstündlich Bilder (Pixel: 2,5 x 2,5 km).

Weniger bekannt sind die Bilder des von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) seit 1991 gestarteten Umweltforschungssatelliten der **ERS**-Familie (ERS = „European Remote Sensing Satellite“). Innovativ ist hier ein Radar-Sender und -Empfänger (aktives Fernerkundungssystem), wodurch Aufnahmen auch bei Schlechtwetter (Tropen!) und nachts erfolgen können. Umweltbezogene Spezialthemen werden großräumig erfaßt und visualisiert.

Ausgezeichnete Satellitenbilder, die für die Zivilverwendung freigegeben wurden, stammen von den ehemals sowjetischen Satelliten der **Kosmos**-Serie (Bahnhöhe etwa 270 km, Bodenauflösung bis zu 2 x 2 m). Hier handelt es sich um Photographien und nicht um digitale Daten. Das gleiche Photosystem hat auch aus der russischen Raumstation MIR hervorragende Photos geliefert (vor allem von Österreich: vgl. die Bildkarten von F. ZWITKOVITS, Wr. Neustadt; CD im Handel, auch: Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Klagenfurt).

Die Weiterentwicklung in der digitalen Satellitentechnologie zielt auf eine verbesserte Bodenauflösung ab. Im Rennen um die schärfsten „Augen im All“ schickt seit 1997 die deutsche **MOMS** 02-Mission (MOMS: „Modularer Optoelektronischer Multispektraler Stereoabtaster“, Flughöhe 400 km) hervorragende digitale Bilder mit einer Auflösung von 5,8 x 5,8 m zur Erde (Copyright: Deutsche Agentur für Raumfahrt-Angelegenheiten, DARA, Bonn). Insbesondere die damit möglichen Panoramabilder (siehe Deutsche Agentur 1997) werden den Unterricht stark beleben.

#### **4. Satellitenbildinterpretation: Wie die Bildinterpretation vor sich geht**

##### **4.1 Bildinterpretation – eine spezielle Form der Gestaltwahrnehmung**

Ob am Monitor oder als „analoges“ Bild – wie andere bildhafte oder kartenmäßige Medien und Informationsträger auch werden Satellitenbilder durch unsere visuellen Sinnesqualitäten wahrgenommen. Die interpretativ-visuelle Nutzung von Satellitenbildern, die Verwendung des in ihnen enthaltenen Informationsgehaltes ist daher sinnvollerweise von seiten der Wahrnehmungstheorie her zu beleuchten. Zunächst jedoch zu den Schritten der **Bildinterpretation**:

Die Interpretation und Analyse von Luft- und Satellitenbildern („*photoreading*“, vgl. TOWNSHEND 1981; ALBERTZ 1991) besteht aus jenen drei unterschiedlichen Komponenten, die zugleich und grundsätzlich jede visuelle Wahrnehmung kennzeichnen:

## SATELLITENBILDER IM UNTERRICHT

1. **Wahrnehmen** („*detection*“) eines Objektes aufgrund von Kontrastunterschieden zur Umgebung (Farb- und Tonwerte).
2. **Erkennen** („*recognition*“, „*identification*“) des Objektes aufgrund der Gestalt, der Größe und anderer objektspezifischer und visuell erfaßbarer Merkmale wie Nachbarschaftslage und typische Vergesellschaftung mit anderen Objekten. Hier spielt auch die Vorerfahrung eine bedeutende Rolle.
3. **Benennen** und Einordnen („*classification*“) des Objektes in den lebensweltlichen Erfahrungsschatz aufgrund von Vorwissen oder Zusatzinformationen.

Welche Objekte sind jene, die uns bei der Bildbetrachtung primär auffallen? Die Objekte der visuellen Wahrnehmung im Satellitenbild sind meist nicht die analytischen Elemente (Photomusterareale) des Bildes, sondern bestimmte auffällige größere Einheiten, die als **Bildgestalten** bezeichnet werden (z.B.: Berggruppen, Talzonen, Flächen starker Kontraste zur Umgebung). Solchen Gestalten kommen dabei bestimmte **Gestaltqualitäten**, wie Ganzheitlichkeit, Zusammengehörigkeit (Kohärenz), „Tendenz zur guten Gestalt“ und Transponierbarkeit, zu.

In der Wahrnehmungspsychologie bedeutet „*Transponierbarkeit*“, daß Gestalten trotz Abänderung im Detail wiedererkannt werden, solange bestimmte typische Merkmalsrelationen erhalten bleiben. Für die geographisch-kartographische Nutzung und für die Interpretation von Luft- und Satellitenbildern ist die Transponierbarkeit von großer Bedeutung. Wir erläutern dies am Beispiel des Luftbildes und der topographischen Karte und weisen von vornherein auf die Sonderstellung des Satellitenbildes hin. Zunächst zum Luftbild:

Warum sind **Luftbilder**, und insbesondere Schrägluftbilder, so leicht zu „lesen“, warum finden sich auch Ungeübte relativ rasch zurecht? Die Antwort lautet: weil die uns vertrauten physischen Objekte der Lebensumwelt – Gestalten eben – im Luftbild als solche wiedererkannt werden können. Häuser und Straßenzüge, Landschaftselemente und andere räumliche Merkmale des großen Maßstabes können identifiziert und angesprochen werden, weil sie aus der Alltagswelt bekannt sind. Was dabei vor sich geht, ist die *Transponierbarkeit* der Gestalten aus unserer visuellen Erfahrung in die Luftbildsicht. Zunächst Unbekanntes erschließt sich in der Folge durch assoziatives Denken oder durch Zusatzinformationen (z.B. durch die Lehrpersonen).

Anders verhält es sich mit der Nutzung **topographischer Karten**. Maßstabsbedingt sind die Objekte des visuell wahrnehmbaren Realraumes verschwunden: zum Teil sind sie in **semiotische Zeichen** (Symbole) umgewandelt, zum Teil sind sie der Generalisierung zum Opfer gefallen. Die semiotischen Zeichen müssen wir lernen, d.h. bildhaft abspeichern wie auch Buchstaben, um die in der Karte verfügbare Information nutzen zu können. In diesem Sinne ist der Begriff „Kartenlesen“ gerechtfertigt. Beim Studium topographischer Karten kommt es daneben zur Wahrnehmung und zur bildhaft-„eidetischen“ Erfassung der topographischen Strukturen, der Lagerrelation bestimmter Karteninhalte. Kartenbilder werden mehr oder weniger deutlich im Kopf abgespeichert. Das Merken der Grundzüge räumlicher Verteilungen ist unter dem Begriff „**mental maps**“ in die geographische Forschung eingegangen.

Das **Satellitenbild** ist im Vergleich dazu ein völlig andersartiges Medium. Vorweg-Erklärungen wie in der Karte fehlen, und ebenso fehlen vertraute Objekte aus dem Umfeld der Alltagswelt. Dazu ist der Maßstab zu klein oder die räumliche Auflösung ist zu schlecht. Und dennoch vermögen viele Betrachter, auch Schüler der Sekundarstufe I (vgl. SEGER 1981), ohne lange Einschulung zumindest einige Grobstrukturen des Satellitenbildes richtig zu deuten. Warum? Weil sie sich eine Vorerfahrung zunutze machen, die aus einem maßstäblich ähnlichen, sonst aber anders aufgebauten Modell der Erdoberfläche stammt: aus den topographischen Karten kleiner Maßstäbe (z.B. aus regionalen Atlaskarten). Die vom Kartenstudium im Langzeitgedächtnis haftengebliebenen **Gestalten der „mental maps“** werden mit der Grobstruktur des vorgelegten Satellitenbildes verglichen. Eine auch nur annähernde Kongruenz (Transponierbarkeit der Gestalten) führt zur raschen Orientierung im Satellitenbild und erleichtert die folgende Bildinterpretation.

Zwei Aspekte begünstigen demzufolge die ad hoc-Erkennung von Satellitenbildinhalten:

1. Das Ausmaß der „guten Gestalt“, die von den Karten über die Erinnerung („mental maps“) transponierbar zur Verfügung steht. Der Küstenverlauf Europas, die Form bestimmter Inseln, Flüsse und Gebirge seien hier genannt.
2. Das Ausmaß der Vorbildung, wobei diese nicht nur die Güte verfügbarer „mental maps“ betrifft, sondern auch die Fähigkeit, sich durch Zusatzinformationen (z.B. Atlasarbeit) Gewißheit über Lage, Orientierung und Maßstab eines Satellitenbildes zu verschaffen.

Der Wahrnehmungs- und Identifikationsprozeß im Rahmen der Interpretation von Satellitenbildern beginnt somit bei **evidenten Bildinhalten** und verläuft nachfolgend in Abhängigkeit von Zielsetzung, Interessenlage und Vorbildung recht unterschiedlich. Generell aber wird man die folgende abgestufte Vorgangsweise wählen:

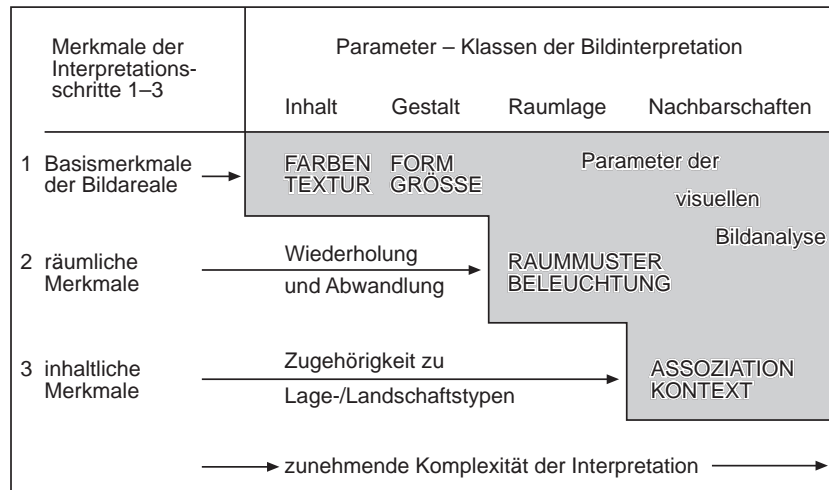
- Identifikation von evidenten Bildgestalten und Groborientierung des Satellitenbildes (Einnorden, Maßstabsabschätzung).
- Feinorientierung mit Hilfe topographischer Informationen (Atlas) und Identifikation der farblich unterschiedlichen Landnutzungskategorien mit Hilfe eines Interpretationsschlüssels bzw. einer Bildlegende.
- Fragestellungsbezogene weitere Analyse von Details der visuellen Information unter Verwendung verschiedener Zusatzinformationen.

#### **4.2 Analytische Elemente der Bildinterpretation**

Wie erwähnt, ist die Erkennung und Identifikation von Bildelementen ein komplexer und sehr unterschiedlich ablaufender Prozeß. Dennoch sind (vgl. ESTES 1984) die folgenden drei Kategorien der Repräsentation und Kognition im Verlauf des Interpretationsprozesses zu unterscheiden: (1) Das Erkennen der Bildareale zufolge von grundlegenden Merkmalskategorien, (2) die Berücksichtigung von räumlichen und von Textur-

Merkmale und (3) die Einbeziehung assoziativer und kontextueller Kategorien in den Interpretationsprozeß. Die Merkmale der visuellen Bildanalyse zeigt Abb. 3.

**Abb. 3: Merkmale der visuellen Interpretation von Satellitenbildern in einem Prozeß zunehmender Komplexität**



Quelle: Nach SEGER 1991.

- Ad 1: Durch von der Umgebung abgehobene **Tonwertunterschiede** und **Farbwerte** erkennt der Betrachter sowohl einfache Photomusterareale als auch komplexe Bildgestalten von bestimmter **Größe** und **Form**. Dominante Bildgestalten können a priori erkannt und benannt werden.
- Ad 2: Form und Größe können sich in charakteristischer Weise wiederholen; man denke dabei an das **Gefügemuster** von Feldflächen oder städtischen Straßenzügen. Ebenso ist es möglich, daß Bildgestalten selbst durch ein gewisses Muster, eine **Textur**, gekennzeichnet sind. Struktur- und Texturmerkmale sind für bestimmte Landnutzungskategorien typisch, diese können dadurch definiert und abgegrenzt werden.
- Ad 3: Zur Identifikation von Bildinhalten ist es vielfach dienlich, von der bekannten Umgebung und Nachbarschaft auf den noch unbekanntem Bildinhalt zu schließen. Bei der Erderkundung sind es zumeist landschaftsökologische oder mit der Landnutzung verbundene Aspekte, die dabei im **Kontext** oder als **Assoziation** angewendet werden. Man schließt von bekannten naturräumlichen oder wirtschaftlichen Gegebenheiten assoziativ auf das benachbarte Unbekannte.

Vielfach ist es sinnvoll, Zusatzinformationen (topographische oder thematische Karten, Luftbilder, Statistiken) zu Rate zu ziehen, um ein Bildobjekt eindeutig zu identifizieren. Bei diffizilen Detailfragen ist eine Erkundung vor Ort („ground truth campaign“) vor-

zunehmen. Der Interpretationsprozeß wird durch einen Interpretationsschlüssel sehr erleichtert.

Was bei der Bildinterpretation geleistet wird, ist die Verknüpfung von bildsichtbaren Merkmalen mit Objektbegriffen aus dem Bereich der Landnutzungsklassen, der Landschaftselemente und der Landformen. Denn jede dieser Oberflächentypen manifestiert sich durch entsprechende visuell wahrnehmbare Bildmerkmale. Eine Anleitung und Hilfestellung zu dieser Interpretationsleistung stellen **Interpretationsschlüssel** dar. Sie enthalten Regeln, die Bildmerkmale mit der Begriffswelt der Landnutzung und Landoberflächen verbinden. Häufig wird den Satellitenbildern eine Legende mit erläuterten Bildbeispielen beigegeben. Man spricht dann von einem *Beispielsschlüssel*.

### 5. Welche Zugriffsmöglichkeiten auf Satellitenbilder gibt es?

Aufnahmen aus Satelliten zeigen die Erdoberfläche aus einer Perspektive, die vor der Entwicklung der Weltraumfahrt unbekannt war und vermitteln auf diese Weise, wie erwähnt, ein völlig neues Bild von unserem Planeten. Satellitenbilder erweitern ganz wesentlich das dem Unterrichtsfach Geographie und Wirtschaftskunde zur Verfügung stehende Medienangebot und bieten interessante didaktische Möglichkeiten bei der Erarbeitung von großräumigen physio- und humangeographischen Strukturen und Potentialen. Das gilt auch für Wetter- und Klimafragen, für die Erkennung von Umweltschäden und von Landschaftsveränderungen. Schüler gewinnen bei der aktiven Auseinandersetzung mit Satellitenbildern nicht nur neue geographische Erkenntnisse, sondern lernen dabei auch neuartige Arbeitstechniken.

Satellitenbilder stehen „Geographie und Wirtschaftskunde“-Lehrern in verschiedenen Printmedien, in Form von Overhead-Transparenten und am Computer zur Verfügung. In Österreich tauchten sie als schulisches Lehrmittel erstmals 1975 in Form einer Beilage zum „Neuen Schulatlas für Hauptschulen und Unterstufen der Höheren Schulen“ (Verlag Freytag-Berndt) auf. Ab 1979 wurden sie dann in die Schulatlanten dieser Firma eingebunden. Aufgrund der in den Lehrplänen der allgemeinbildenden Schulen von 1985/86 (Sekundarstufe I) bzw. von 1989 (Sekundarstufe II) explizit angeführten „Weltraumbilder“ enthielten in der Folge alle GW-Schulbücher (meist für jene Schulstufen, in denen Österreich behandelt wird) auch großflächige Satellitenbilder. Solche sind heute auch in den anderen österreichischen Schulatlanten in unterschiedlicher Anzahl zu finden. In der Zeitschrift GW-Unterricht waren Satellitenbilder den Heften 26/1987 (Salzkammergut), 32/1988 (Waldviertel, Alpenvorland, Wachau), 37/1990 (Donaudelta), 48/1992 (Amazonasgebiet) und 53/1994 (Europa) als Overhead-Transparente (inklusive Beschreibungen) beigegeben.

Weiters stehen den Unterrichtenden heute verschiedene kommerziell angebotene Foliensätze mit Transparenten von Weltraumbildern (z.B. vom Schulbedarfszentrum [SBZ] in Hadersdorf/Kamp oder dem Orbit-Verlag in Bonn), mehrere Satellitenbild-Atlanten (z.B. der von L. BECKEL herausgegebene „Satellitenbildatlas Österreich“, der „Diercke Weltraumbild-Atlas“ des Verlages Westermann oder der prächtige „Satelliten Weltatlas“ der „National Geographic Society“, erschienen 1999 im Steiger Verlag,

## SATELLITENBILDER IM UNTERRICHT

Augsburg), Satellitenbilder als Poster, Satellitenbildkarten, die den vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen herausgegebenen amtlichen österreichischen Kartenwerken 1:50.000, 1:200.000 und 1:500.000 maßstabentsprechend angepaßt wurden (sie werden von der Firma Geospace in Salzburg vertrieben) sowie Satellitenbilder auf CD-ROMs (u.a. „Satelliten-Atlas Österreich“ von Geospace/Herold – vgl. W. SITTE 1997) zur Verfügung. Auf dieser CD-ROM wird auch in die Satellitenbild-Technologie eingeführt. Schließlich ist es auch möglich, Satellitenbilder bzw. Bilddaten von Datenbanken, z.B. der NASA oder der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DLR), über das Internet auf den Schul- bzw. eigenen Personalcomputer zu transferieren (W. HASENPFUG 1996; M. KRYNITZ 1996). Siehe auch Fußnote 1.

### 6. Wie Satellitenbilder im Unterricht genutzt werden können

#### 6.1 Didaktische Voraussetzungen

Fernerkundungsprodukte der Erdbeobachtung stehen heute in vielfältiger Form, jedoch nicht immer geeignet für den Einsatz im Unterricht, zur Verfügung. Dreierlei bedeutet der Hinweis auf die Sinnhaftigkeit des Einsatzes im Unterricht:

1. Das Bildbeispiel muß von seinem Informationsgehalt her Kontext zu den Zielen und Inhalten des Unterrichts aufweisen.
2. Das Bildbeispiel muß allen Schülern in gleicher Qualität präsentiert werden, d.h. es liegt entweder gedruckt vor (Schulbuch, Atlas, sonstige Quelle), oder es wird mittels einer Overhead-Folie präsentiert (so können Bildunikate für alle verwendbar gemacht werden), oder die Daten werden über PC-Monitore visualisiert.
3. Das Bildbeispiel soll gut und hinreichend analytisch interpretierbar sein. Die Legende bei Satellitenbildern oder die kartographischen Elemente bei Satellitenbildkarten sind ein Einstieg dazu; vor dem Einsatz im Unterricht sollte sich der Lehrer jedoch selbst überlegen, welche Aussagen über die Bildinterpretation zu gewinnen sind.

Die weiteren Ausführungen beziehen sich auf den didaktischen Einsatz der Satellitenbilder selbst. Dazu zuvor eine Anmerkung:

Im Gegensatz zu anderen Medien des GW-Unterrichts können Satellitenbilder nicht bloß Medium für bestimmte inhaltliche Unterrichtsziele sein, sondern auch zum Gegenstand des Unterrichts selbst werden. Die technologischen Möglichkeiten unserer „modern times“ sind in bezug auf die „Erd-Kunde“ faszinierend. Ein fächerübergreifender Unterricht oder Projektarbeiten bzw. das Wahlpflichtfach auf der Sekundarstufe II bieten sich an. Daneben sind **drei unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten** der mittlerweile weit verbreiteten Satellitenbilder vorstellbar:

1. *Satellitenbilder als **Gegenstück und Ergänzung** zu herkömmlichen **Karten** im regionalen bis globalen Maßstab verwenden.* Zwei unterschiedliche Modelle der Welt liegen vor – von der visuellen Repräsentation her sowie von den technischen

Grundlagen. Die Weltraumfahrt hat eine Revolution der „Weltsicht“ erbracht. Die wichtigen Merkmalsunterschiede Karte – Satellitenbild zeigte bereits Abb. 1. Fotoartig detailliert und ohne topographische Informationen bedarf das Bild des ergänzenden Einsatzes der Karte.

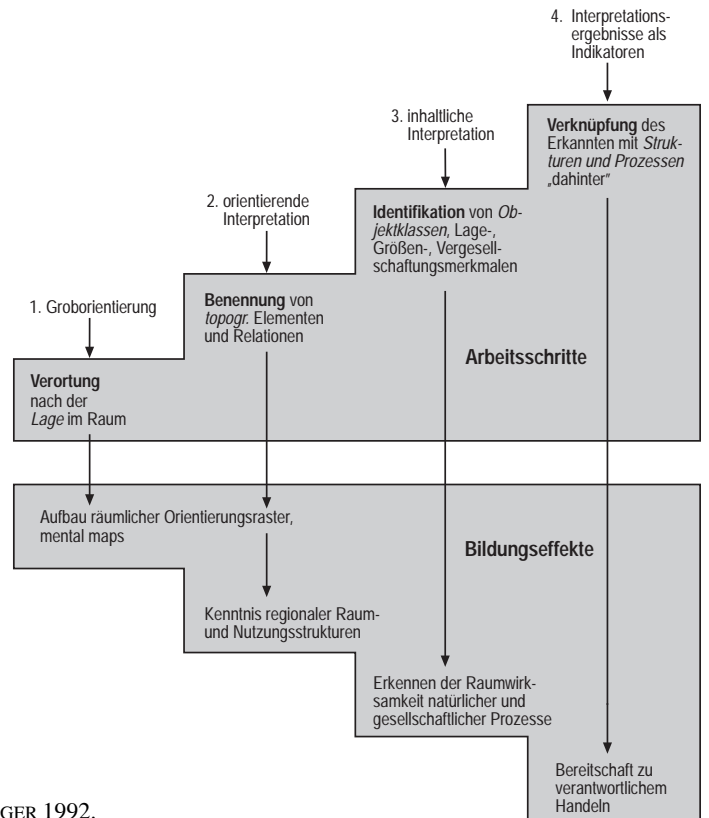
2. *Satellitenbilder als vielseitige **Informationsträger** nutzen.* Besonders Bilder im regionalen Maßstab zeigen viele Details der Landnutzung, Ergebnisse der Entwicklung und Entwicklungsplanung, Aktiv- und Passivräume, schutzwürdige Bereiche und Naturpotentiale. Statistische Informationen und Fachliteratur können die diesbezüglichen Interpretationsbefunde erhärten oder korrigieren; Multimedia gilt auch für den Wissenserwerb.
3. *Ein Satellitenbild als **visuellen Impuls** zum Aufgriff eines Themas einsetzen.* Gewisse Fragestellungen, z.B. solche, die mit dem Naturraumpotential, mit dem Umfang und der Intensität der menschlichen Raumnutzung u.s.w. zusammenhängen, können sehr eindrucksvoll anhand von Satellitenbildern eingeleitet werden.

#### **6.2 Satellitenbildinterpretation: ein mehrstufiger aktiver Lernprozeß**

Die mögliche Verwendung des Satellitenbildes im Unterricht und die dabei zu beachtenden Arbeitsschritte werden im folgenden als eine Abfolge wachsender Komplexität beschrieben. Den Arbeitsschritten wird jeweils ein bestimmter Lern- bzw. Bildungseffekt zugeordnet. Die folgenden vier Stufen der Nutzung eines Satellitenbildes können unterschieden werden (vgl. Abb. 4):

1. **Groborientierung:** Verortung des Bildes im Raum nach erkennbaren oder evidenten Bildgestalten; Vergleich mit Atlaskarten. *Bildungseffekte:* Kartenbenutzung, Maßstabsfragen, Einsatz bzw. Aufbau von „mental maps“.
2. **Orientierende Interpretation:** differenziertere Auseinandersetzung mit der Topographie des gegenständlichen Raumes. Überprüfung, welche Kartenelemente im Satellitenbild sichtbar sind, und vice versa. *Bildungseffekte:* Erkennen, wie Satellitenbild und Karte denselben Raum unterschiedlich wiedergeben; Kenntnis regionaler Raumstrukturen.
3. **Inhaltliche Interpretation:** Differenzierung und Benennung von Objektklassen, d.h. von Siedlungs- und Verkehrsstrukturen, der agrarischen Landnutzung, der naturnahen Räume. Beachtung der Ausdehnung und Vergesellschaftung dieser identifizierten Raumstrukturen. *Bildungseffekte:* Feststellung, welche Objektkategorien der Raumnutzung im Satellitenbild gut sichtbar sind und was verborgen bleibt. Bewertung der Fernerkundung für konkrete Bildungsziele. Erkennen, daß die reale Landnutzung ein Produkt aus dem Zusammentreffen von gesellschaftlichem Handeln im Raum und natürlichen Potentialen darstellt.
4. **Bildinhalte als Indikatoren:** Die im Verlauf der Bildinterpretation erkannten räumlichen Strukturen sind das Produkt von „dahinterstehenden“ Prozessen – von sozio-

**Abb. 4: Das Satellitenbild im Unterricht. Arbeitsschritte und Bildungseffekte als Abfolge wachsender Komplexität**



Quelle: SEGER 1992.

ökonomischen Kräften oder naturbedingten Effekten. Die Bildinhalte gelten nun als Indikatoren für diese Prozesse, denen mit Hilfe diverser Materialien (Statistiken, Texte, thematische Karten) nachgegangen wird. *Bildungseffekte:* Von räumlichen Merkmalen ausgehend werden gesellschaftliche Sachverhalte angesprochen, z.B. Lebenschancen und die Lebensqualität in bestimmten Regionen. „Spurensuche im Raum“ nach G. HARD, Aufdecken der gesellschaftlichen und der physischen Determinanten des Realraumes wird hier betrieben. Der „physiognomische Ansatz“ der Kulturlandschaftsanalyse von E. LICHTENBERGER wird dabei angewandt: über raumbezogene Fakten (die Satellitenbildinhalte) werden nicht-räumliche Fragestellungen angesprochen.

Es versteht sich, daß von der dargestellten Fläche her und von der inhaltlichen Differenzierung der Satellitenbilder solche Fragestellungen eher große Räume und damit den kleinen Maßstab betreffen. Für Probleme im Zusammenhang mit dem Wohnumfeld etwa sind natürlich Luftbilder wesentlich besser geeignet, und für andere Fragen kommen normale Photographien oder Kartenausschnitte als Medien im GW-Unterricht eher in



Frage. Wenn wir die Trends zur Globalisierung von Kommunikation und Information einerseits und zur Visualisierung dieser Information andererseits auch in das Unterrichtsgeschehen einbringen wollen, dann stellen Satellitenbilder dazu ein hervorragendes kleinmaßstäbiges Medium dar.

Was dabei als Bildungs- und Erziehungswert anfällt, ist das **visuelle Erlebnis**, wie unsere Erdoberfläche in Teilen oder als Ganzes aussieht, wenn nicht der kartographische Reduktionismus (Atlaskarten) das Modell der Landoberfläche bestimmt. Daneben wird wohl bewußt, wie sehr die Weltraumtechnologie abseits der Telekommunikation dazu beigetragen hat, unseren Lebensraum Erde als Einheit zu begreifen. Die Erdbeobachtung (das „*Monitoring*“), ist zudem heute für unterschiedliche Fragen im internationalen Kontext nicht mehr wegzudenken. Überdies sind Satellitenbilder entfernter Weltgegenden, im gleichen Maßstab dargeboten wie solche der Heimatregion, von stärkerer Unmittelbarkeit als etwa kleinmaßstäbige Karten.

### Literatur

- ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 204 S. – BREITENBACH, Th. (1998): Handbuch zur Arbeit mit Satellitenbildern im Unterricht. Bonn: Orbit-Verlag, 104 S. – BREITENBACH, Th. et al. (Hrsg.) (1998): Satellitenbilder im Unterricht. Band 2. Medienpaket mit OH-Transparenten. Bonn: Orbit-Verlag. – ESTES, J., HAJIE, E. und L. TINNEY (1983): Fundamentals of Image Analysis. In: American Society of Photogrammetry (Hrsg.): Manual of Remote Sensing, S. 987ff. – Fernerkundung (1998): Themenheft der Zeitschrift „Geographische Rundschau“, 50. Jg., Heft 2. Braunschweig: Westermann. – HASSENPFUG, W. (1996): Informationstechnologien, insbesondere Fernerkundung, als Basis der Modernisierung des Erdkundeunterrichts. In: Geographie und ihre Didaktik 24 (3), S. 113–129. – KRYNITZ, M. (1996): ISIS. Datenfernübertragung für den Erdkundeunterricht mit dem Intelligenten Satellitendaten-Informationssystem (ISIS). In: Geographie heute 137, S. 22–23. – LÖFFLER, E. (1985): Geographie und Fernerkundung. Stuttgart: Teubner, 244 S. – SEGER, M. (1982): Zum Verständnis von Satelliten- und anderen Fernerkundungsbildern (mit Schülerbefragung und Interpretationshinweisen). In: Klagenfurter Geographische Schriften 3, S. 97–121. – SEGER, M. (1989): Physische Geographie und Landschaftsökologie. Landnutzungsanalyse aufgrund einer Farbinfrarot-Orthofotokarte. In: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft 131, S. 5–26. – SEGER, M. (1992): Einsatz von Satellitenaufnahmen in der Schulkartographie. In: MAYER, F. (Hrsg.): Schulkartographie. Wiener Symposium 1990, Tagungsband. Wien: Institut für Geographie der Universität Wien, S. 64–82 (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie 5). – SEGER, M. (1996): Satellitenbildkarten: Informationsträger zur Realraumanalyse. In: KRETSCHMER, I. und K. KRIZ (Hrsg.): Kartographie in Österreich '96. Wien: Institut für Geographie der Universität Wien, S. 147–152 (mit Satellitenbildkarte) (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie 9). – SITTE, W. (1997): Neue Medien und ihr Schuleinsatz. In: Wissenschaftliche Nachrichten 103, S. 48–51. – THEILEN-WILLIGE, B. (1993): Umweltbeobachtung durch Fernerkundung. Stuttgart: Enke, 110 S. – TOWNSEND, J. R. G. (1981): Terrain Analysis and Remote Sensing. Boston: Allen Unwin.

Manuskript abgeschlossen: 1999

*Martin Seger*