

**Begleittext  
zum Doppelblatt**

# **WESTFALEN IM SATELLITENBILD**

**aus dem Themenbereich I  
„WESTFALEN“**

von  
**Klaus-Ulrich Komp**

Herausgegeben von der  
**Geographischen Kommission für Westfalen  
Landschaftsverband Westfalen-Lippe**



**Ashendorff Münster  
1991**

## INHALT

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1. Einführung und Konzeption . . . . .  | 1 | 3.1 Infrarotdarstellung (Karte 2.1) . . . . . | 5 |
| 2. Satellitenbildtechnik . . . . .  | 2 | 3.2 Vegetationsindex (Karte 2.2) . . . . .    | 6 |
| 2.1 Aufnahmetechnik . . . . .   | 2 | 3.3 Realnutzung (Karte 2.3) . . . . .         | 7 |
| 2.2 Bildverarbeitung . . . . .  | 4 | 3.4 Versiegelungsgrad (Karte 2.4) . . . . .   | 8 |
| 2.3 Kartographische Bearbeitung . . . . .   | 5 | Literatur . . . . .                           | 9 |
| 3. Satellitendaten für die Regional-<br>forschung und Landesplanung<br>(Karten 2.1–2.4) . . . . . | 5 |   |   |

# Westfalen im Satellitenbild

VON KLAUS-ULRICH KOMP, MÜNSTER

## 1. EINFÜHRUNG UND KONZEPTION

In der geographischen Forschung und ökologischen Bestandsaufnahme haben sich Fernerkundungsverfahren zunächst auf der Basis von Luftbildern seit den grundlegenden Gedanken von Carl TROLL auch in Deutschland einen festen Platz erobert (vgl. TROLL 1939, 1942, 1943, 1963). War die Verbreitung der Methoden gegenüber England, Frankreich und den Vereinigten Staaten durch Restriktionen der Kriegs- und Nachkriegszeit zunächst verzögert worden, so setzte doch spätestens seit den bemannten Raumflügen der sechziger Jahre eine neue Phase der Entdeckung der Erde ein, die auch die geographische Erderkundung in der BR Deutschland beflügelt hat.

Das „Neue Bild der Erde“, das zuerst durch die Gemini- und Apollo-Missionen vermittelt wurde, hat in der Folge neue Techniken hervorgebracht, die z. B. durch die täglichen Wettersatellitenbilder in den Nachrichten des Fernsehens unmittelbar jeden einzelnen erreichen. Wichtige Anstöße für die derzeitige globale Umweltdiskussion gehen auf Erkenntnisse zurück, die durch Fernerkundungsverfahren gewonnen wurden. So sind die jahreszeitlichen Schwankungen und Rückgänge der Ozonkonzentration über den Polargebieten erst durch Satellitendatenauswertungen in ihrer räumlichen Ausbreitung nachgewiesen worden. Das Ausmaß der gegenwärtigen Waldzerstörung im Tropengürtel der Erde ist quantitativ bisher lediglich durch Satellitenaufnahmen abschätzbar. Dazu kommen weitere alarmierende Ereignisse, die zwar singulär auf der Erd- oder Wasseroberfläche gemessen worden sind, in ihrer flächenhaften Verbreitung jedoch erst durch Satelliten- oder Luftaufnahmen erfaßbar wurden, wie z. B. im Sommer 1988 die Algenblüte in der Nord- und Ostsee. Es bedarf also in der Umweltüberwachung und Umweltplanung längst nicht mehr des Nachweises der Leistungsfähigkeit von Fernerkundungsverfahren. Vielfach stellen sie die zeitweilig einzig praktikable Informationsquelle dar (z. B. „Ozonloch“), zudem sind sie in der Regel sehr viel preiswerter als andere Meßmethoden.

Abgesehen von den globalen Zusammenhängen gewinnt die Satellitentechnik auch für den eigenen unmittelbaren Lebensraum zunehmend an Bedeutung. So u. a. auf dem Gebiet der Raum- und Umweltplanung, in der Satellitendaten immer stärker in Planungsgrundlagen einbezogen werden, wie z. B. im Rahmen der Überwachung des Flächenstilllegungsprogramms für den Weizenanbau innerhalb der Europäischen Gemeinschaft. Darüber hinaus deuten jüngst angelegte Pilotvorhaben zur praktischen Anwendung digitaler Satellitenauswertung in der Sekundarstufe II von 150 Schulen im Bundesgebiet darauf hin, daß hier der Geographie ein neues Medium zur Verfügung stehen wird, das hilft sehen zu lernen, Zusammenhänge zu vermitteln und die eigene Interpretation anzuregen.

Daher sollen auch in dem vorliegenden Atlasblatt die Informationsquelle Satellitendaten durch eine Bildkarte (**Karte 1**) dokumentiert und weitere thematische Ableitungen in beispielhaften Ausschnitten (**Karten 2.1–2.4**) vorgestellt werden. Das ermöglicht dem Leser einerseits eine Gesamtschau Westfalens aus der Weltraumperspektive unter individueller Vielfalt der Interpretation und andererseits den Ausblick auf planerische Anwendungen durch die Einzelbeispiele. Darüber hinausgehende Auswertungen eröffnen bei der Integration von Satellitendaten verschiedener Aufnahmezeitpunkte ein noch längst nicht ausgeschöpftes Potential von Nachweisen räumlicher Veränderungen, insbesondere im Bodennutzungs- und Vegetationsbereich.

Vergleiche zwischen topographischen oder thematischen Karten und Bildaufnahmen aus dem Weltraum lassen schnell grundsätzliche Unterschiede deutlich werden. Karten zeichnen sich durch eine dem Maßstab entsprechende Generalisierung bei gleichzeitiger Hervorhebung wichtiger Details auch von geringer räumlicher Ausdehnung aus. Dagegen ist der Inhalt eines digitalen Bildes von dem Aufnahmezeitpunkt abhängig und unterdrückt z. T. kleinere Flächeneinheiten unabhängig von ihrer Bedeutung zugunsten des aktuellen Gesamteindrucks. Ein Beispiel hierfür sind die Autobahnen, bei denen neue Trassen sehr viel stärker hervortreten als an-

dere, bereits seit Jahren durch Begrünung in die Landschaft eingebundene Abschnitte. Insgesamt sind im Satellitenbild das Gewässernetz und die Straßen weit weniger zu erkennen als in Karten, da diese schmalen Bandstrukturen nur relativ wenig Fläche beanspruchen. Somit gibt das Satellitenbild vor allem den Landschaftseindruck flächig auftretender Nutzungen wieder, während Karten, insbesondere z. B. Straßenkarten, den Eindruck einer „Straßenlandschaft“ fördern. Auch Siedlungen treten folglich nur bei einer Baukörperkonzentration hervor und nicht durch ihre einwohnerzahlmäßige oder administrative Bedeutung. Ein weiterer auffälliger Unterschied zur Karte ist z. B. bei den Steinbrüchen am Teutoburger Wald in der Nähe von Lengerich abzulesen, die sich je nach Abbaustand und Renaturierungsgrad entweder sehr deutlich oder fast gar nicht abzeichnen. Auch bei den Wasserflächen bestehen je nach Gewässerzustand große Differenzen. Während die Halterner Seen relativ gut auszumachen sind, lassen sich z. B. die Klärbecken im Ruhrtal bei Wickede kaum identifizieren, was vermutlich auf Eutrophierung und Schwebstoffgehalte zurückzuführen ist. Interessanterweise treten die Moorflächen am Steinhuder Meer und im westfälisch-niedersächsischen sowie -niederländischen Grenzgebiet deutlich aus ihrer Umgebung hervor. Das westdeutsche Kanalnetz ist dagegen nur abschnittsweise zu verfolgen, da die Breite der freien Wasserfläche im Grenzbereich der Satellitenauflösung liegt. Die Baustelle der neuen Fahrt des Mittellandkanals bei Hörstel zeichnet sich allerdings recht deutlich ab.

Auf den landwirtschaftlichen Flächen sind Grünland- und Wintergetreidebereiche bereits gut zu erkennen. Entsprechend dem Aufnahmedatum im Mai überwiegt bei den anderen Anbaufrüchten noch das Signal des offenen Bodens, d. h. der nicht geschlossenen Vegetationsbedeckung, allerdings mit Farbvariationen in Abhängigkeit von Bodentyp und Bodenfeuchte. Bei den Waldflächen lassen sich anhand ihrer unterschiedlich dunklen Grüntöne Nadel- und Laubholzgebiete unterscheiden.

## 2. SATELLITENBILDTECHNIK

Der Frage, wie aus den im Weltraum aufgezeichneten Daten ein Satellitenbild zu-

stande kommt, soll hier insoweit nachgegangen werden, wie es das Verständnis der auf dem vorliegenden Atlasblatt wiedergegebenen Karten erfordert.

### 2.1 AUFNAHMETECHNIK

Gegenwärtig betreiben die Vereinigten Staaten von Amerika, Frankreich, Indien, Rußland und die Europäische Gemeinschaft unbemannte oder bemannte Weltraumsysteme, die zur zivilen Umweltbeobachtung geeignet sind. Wichtige Kriterien der Systeme sind die räumliche Auflösung, die spektralen Meßbereiche und die zeitliche Wiederholbarkeit. Im Gegensatz zu den zeitlich begrenzten Einzelmissionen (Gemini- oder Skylab-Missionen) handelt es sich bei Satelliten um Meßplattformen, die während einer längeren Lebensdauer von festgelegten Orbitalbahnen aus ständig Daten aufnehmen bzw. weiterfunken. Je nach Lage der Umlaufbahnen lassen sich dabei drei grundlegende Typen unterscheiden (Abb. 1):

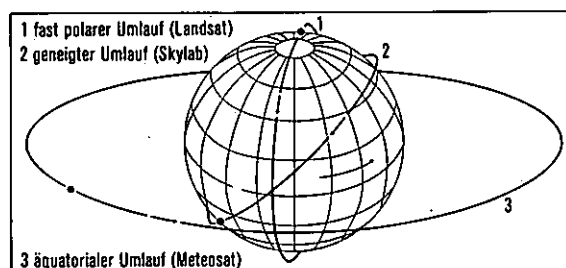


Abb. 1: Erdumlaufbahnen (aus KOMP 1991)

1. Satelliten auf äquatorialen Umlaufbahnen, die der Wettervorhersage dienen (z. B. METEOSAT), werden für die Erdbeobachtung nur eingeschränkt herangezogen, haben aber den Vorteil, daß sie scheinbar über einem Punkt der Erde stillstehen und somit stündlich vom gleichen Gebiet neue Daten liefern können.

2. Satelliten oder Raumfahrzeuge auf geneigten Umlaufbahnen befinden sich vorwiegend in Höhen zwischen 100 km und 300 km und sind zumeist nicht auf einen festen Wiederholungszyklus ausgerichtet.

3. Die Gruppe der Satelliten auf (fast) polaren Umlaufbahnen können wesentlich erdnäher als die äquatorialen stabilisiert werden. Damit sind eine wesentlich bessere Detaillierbarkeit und ein festgelegter Wiederholungszyklus gegeben, Umweltmonitoring und die Kartierung von Landnutzungs- und Sied-

lungsverteilung sowie forstwirtschaftliche Bestandsaufnahmen möglich und vieles mehr.

Das gemeinsame Kennzeichen aller Satellitenprogramme ist die ständige Aufzeichnungsbereitschaft mit hoher Wiederholungsrate. Allerdings können Wolkenbedeckungen bedeuten, daß Daten nur gebietsweise oder gar nicht auswertbar sind. Während die Daten der meteorologischen Satelliten (METEOSAT), der Eis- und Wetter-satelliten (NOAA) sowie der amerikanischen und französischen Erderkundungssatelliten (LANDSAT und SPOT) nahezu unbeschränkt verkauft werden, ist der Erwerb von Daten der russischen Weltraumkamera SOJUS KFA 1000 und des indischen IRS-1A immer noch durch Sicherheitsbedenken und administrative Hürden erschwert, die einen aktuellen Zugriff, z. B. im Fall von Umweltkatastrophen, praktisch ausschließen.

Für die Satellitenbildkarte von Westfalen (Karte 1) wurden Daten des amerikanischen Programms LANDSAT herangezogen, aus dem seit 1972 regelmäßig multispektrale Aufnahmen der Erde zur Verfügung stehen. Jeder multispektrale Datensatz umfaßt ein

Gebiet von ca. 180 mal 180 km und besteht aus vier bzw. sieben deckungsgleichen Bildern in je einem Spektralbereich. Jedes Bild des Sensors MSS (Multispectral Scanner) setzt sich aus 3200 mal 3200 Bildelementen („Pixel“) zusammen, die jeweils einer Fläche von 79 mal 79 m am Boden entsprechen. Die Daten dieses Aufnahmesystems werden von Bodenstationen in verschiedenen Teilen der Welt aufgezeichnet; für Europa stehen diese Stationen in Kiruna in Schweden und in Fucino in Italien (Abb. 2).

Die beiden Satelliten LANDSAT 4 (seit 1982) und LANDSAT 5 (seit 1984) haben zusätzlich zu dem Sensorsystem MSS ein weiteres an Bord, das insbesondere wegen seiner speziellen spektralen Differenzierung unter der Bezeichnung Thematic Mapper (TM) bekannt geworden ist. Es liefert jeweils Datensätze mit sieben deckungsgleichen Bildinformationen verschiedener Spektralbereiche mit einer Auflösung, die einer Pixelgröße von 28,5 mal 28,5 m am Boden entspricht. Der fast polare Umlauf der beiden operierenden Satelliten ist so ausgerichtet, daß jeder von ihnen nach 16 Tagen wieder die gleiche Um-

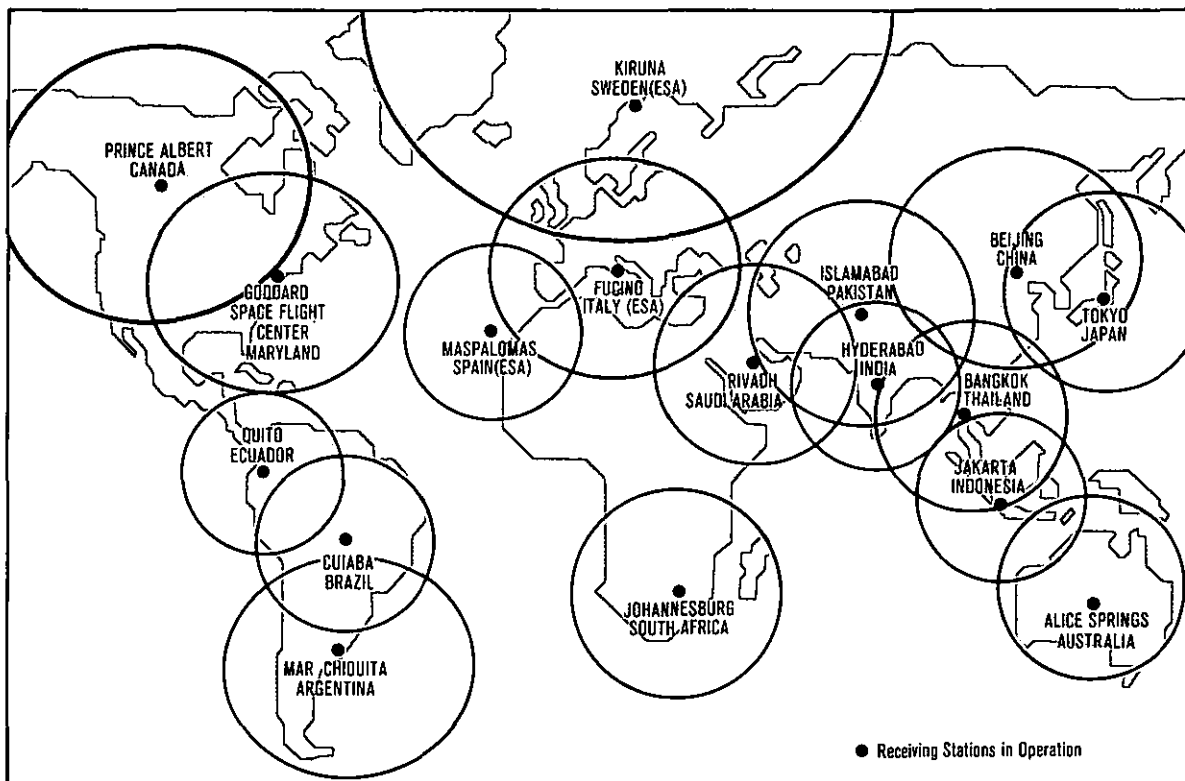


Abb. 2: Datenempfangsstationen für die Erderkundungssatelliten vom Typ LANDSAT (aus KOMP 1991)

laufbahn erreicht und neue Aufnahmen liefern kann, sofern Wolkenbedeckung, Staub oder Sandstürme nicht den Blick beeinträchtigen.

Die Datenaufzeichnung des TM-Sensors liefert folgende Spektralkanäle:

- Kanal 1 450– 520 nm sichtbar, Blau
- Kanal 2 520– 600 nm sichtbar, Grün
- Kanal 3 600– 690 nm sichtbar, Rot
- Kanal 4 760– 900 nm Nahes Infrarot
- Kanal 5 1550– 1750 nm Kurzwellen-Infrarot
- Kanal 7 2080– 2350 nm Kurzwellen-Infrarot
- Kanal 6 10400–12500 nm Therm. Infrarot

Für die vorliegende Satellitenbildkarte (Karte 1) hat die im nördlichen Mitteleuropa häufige Wolkenbedeckung dazu geführt, daß für die letzten Jahre hauptsächlich Daten aus dem Monat Mai vorliegen. Nach Analyse der spektralen Differenzierbarkeit der Bilddaten im Hinblick auf eine angestrebte Darstellung mit naturähnlichen Farben wurden der LANDSAT-Kanal 3 zur Darstellung der Rottöne, der Kanal 4 zur Darstellung der Vegetationsreflektion in Grün und der Kanal 1 zur Darstellung in Blautönen verwandt.

## 2.2 BILDVERARBEITUNG

Im Gegensatz zur Luftbildphotographie, bei der bereits das Primärprodukt Bild betrachtet und interpretiert werden kann, sind für die Auswertung von digitalen Daten der Erdkundungssatelliten zunächst umfangreiche Rechenschritte und die entsprechenden Peripheriegeräte notwendig, bis der Betrachter ein Bild in die Hand bekommt. Da es sich bei der digitalen Bildverarbeitung um größere Mengen von Rasterdaten handelt, sind in der Regel leistungsfähige EDV-Anlagen erforderlich. Diese umfassen spezielle Programme zur Verbesserung des Bildkontrastes, zur Unterdrückung von Bildstörungen oder zur Betonung bestimmter Phänomene durch Filteroperationen sowie zur Segmentierung des Bildinhalts in verschiedene Klassen durch verschiedene Algorithmen aus dem Bereich der Statistik. Neben diesen, die Bildaussage verstärkenden Operationen sind noch eine Reihe von geometrischen und radiometrischen Bildverbesserungen erforderlich, um zu einer Bildkarte innerhalb eines kartographischen Bezugssystems zu gelangen.

Zu diesem Zweck müssen zunächst in den Rohdaten Punkte identifiziert und in ihren Bildkoordinaten gemessen werden, die sich zweifelsfrei kartierten Punkten einer vorhan-

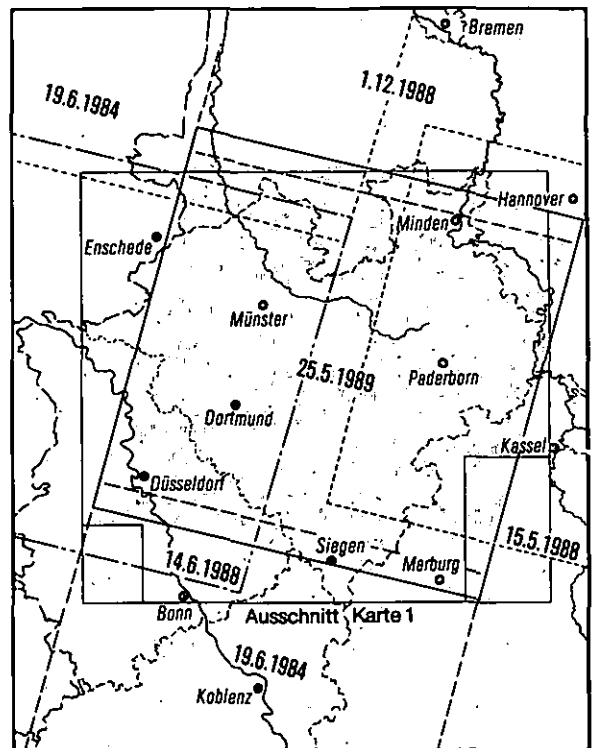


Abb. 3: Übersicht der verwendeten Satellitenszenen

denen Kartengrundlage – in möglichst größerem Maßstab als dem Endmaßstab – zuordnen lassen. Um nicht Verdrängungs- und Generalisierungseffekte der Kartengrundlage als Fehler in die Berechnungen einzuführen, müssen möglichst eindeutige Schnittpunkte von Verkehrslinien mit Flüssen oder anderen Linien gewählt werden, die allerdings auch im Satellitenbild als solche wiederzufinden sind. Somit erhält man für jede Satellitenszene einige Dutzend Paßpunkte, für die man einerseits die Bildkoordinaten der Rohdaten und korrespondierend die Koordinaten in einem übergeordneten Kartenbezugssystem, hier dem Gauß-Krüger-System, vorliegen hat. Auf dieser Grundlage kann nun die Transformation der Daten berechnet werden und man erhält einen neuen Datensatz, in dem jeder Bildpunkt einen definierten Koordinatenwert im Gauß-Krüger-System besitzt.

Da zur vollständigen Erfassung Westfalens eine einzige Satellitenszene nicht ausreicht, muß diese Prozedur für jede der verwendeten Szenen (Abb. 3) getrennt durchgeführt werden. Anschließend werden Helligkeit und Kontrastumfang der Szenenübergänge anein-

ander angepaßt, so daß nun die Datensätze zu einem digitalen Mosaik vereinigt werden können. Da es nicht möglich war, in allen Szenen sowohl den gleichen phänologischen Stand wie auch die gleichen Dunstverhältnisse zu erreichen, sind für den aufmerksamen Betrachter leichte Unterschiede an den Szenenübergängen sichtbar. Kontrastverstärkung und Filterung schließen diesen Bearbeitungsschritt ab.

### 2.3 KARTOGRAPHISCHE BEARBEITUNG

Für die kartographische Bearbeitung sind zusätzlich zur Bearbeitung des Bildinhalts der Karte 1 und der Karten 2.1–2.4 die Kartenrahmen und die Legendenfelder ebenfalls digital erzeugt worden. Die Verwaltungsgrenze des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe ist anhand der in anderen Atlasblättern verwendeten Grenze digitalisiert und ebenfalls digital dem Satellitenbild überlagert worden. Für eine Bildkarte läßt sich keine Kartenlegende im strengen Sinne erstellen. Daher ist hier der Weg gewählt worden, typische Bildausschnitte, z. B. für Stadt bzw. Dorf, Grünland oder Wald, aus der Karte 1 digital zu markieren und in die entsprechenden Legendenfelder zu verschieben. Mit Rücksicht auf die durch Datenumfang und Drucktechnik vorgegebenen Rasterweiten wurde entschieden, die Beschriftung in Schwarz als gesonderten Film zu erstellen. Dabei ist die Innenbeschriftung der Karte 1 bewußt auf ausgewählte Städtenamen beschränkt worden, um dem Betrachter möglichst wenig Bildinformation zu verdecken. Die Herstellung der Druckvorlagen erfolgte über einen Präzisions-Laserfilmschreiber; die anschließende Farbauszugherstellung und der Druck erfolgten im Vierfarben-Offsetverfahren.

### 3. SATELLITENDATEN FÜR DIE REGIONALFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (KARTEN 2.1–2.4)

Die Karten 2.1–2.4 beschränken sich bewußt auf kleine Ausschnitte, die in erster Linie beispielhaft auf weitere Verwendungsmöglichkeiten von Satellitendaten für die Regionalforschung und Landesplanung hinweisen sollen. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden jeweils zwei unterschiedliche Datenaufbereitungsergebnisse für den gleichen Ausschnitt nebeneinander gestellt. Mit der

Entscheidung für die beiden Beispielräume Haard und Südostwestfalen sollte einmal die Übergangslandschaft an der Lippe zwischen dem rheinisch-westfälischen Industriegebiet und dem agrarisch geprägten Münsterland und zum anderen die Stellung der Städtereihe am Hellweg zwischen Börden- und Mittelgebirgslandschaft aufgezeigt werden.

#### 3.1 INFRAROTDARSTELLUNG (KARTE 2.1)

Für die Darstellung der Haard in Karte 2.1 wurden keine naturähnlichen Farben gewählt, sondern eine Farbkombination in sog. Falschfarben, die die Vegetation in Rottönen erscheinen läßt. Die gute Differenzierbarkeit der Vegetation hat, wie viele andere Entwicklungen der Fernerkundungstechnik, eine militärische Entstehungsgeschichte. Es war während des Zweiten Weltkrieges um 1942, als es in den USA Mitarbeitern der Eastman Laboratorien gelang, einen Film herzustellen, dessen Empfindlichkeit im nahen Infrarot es erlaubte, lebendes Blattgrün von anderen grünen Oberflächen oder von abgeschnittenen Laubzweigen zu unterscheiden. Dieser „Camouflage-Detection-Film“ machte bei militärischen Luftaufnahmen herkömmliche Tarnungen wertlos. Seine Weiterentwicklung auf Farbfilmbasis brachte sog. Falschfarben zustande, bei denen die dem menschlichen Auge nicht sichtbaren Wellenbereiche des nahen Infrarot in Rot erscheinen, rote Ziegeldächer dagegen in Gelb und sonstige Oberflächen in Grün- und Blautönen. Es lag nahe, diese einmalige Differenzierbarkeit der Pflanzendecke auch in anderen Bereichen einzusetzen. So ist es erklärlich, daß nach der Freigabe für zivile Verwendungen in den USA und in Kanada in den 60er Jahren und für den Export in den 70er Jahren sich dieser Film in Windeseile einen festen Platz in der Forstkartierung, in der landwirtschaftlichen Schädlingsbekämpfung und danach in der ökologischen Bestandsaufnahme erobert hat.

Aus diesem Grunde erhielten die seit 1972 gestarteten Erderkundungssatelliten der Serie LANDSAT MSS auch eine Sensorkonfiguration, die die Herstellung von digitalen Farbbildern in Falschfarbencharakteristik erlauben. Nun ließe sich denken, daß man mit der Technik der digitalen Bildverarbeitung zwar die bessere Differenzierbarkeit des Infrarotkanals nutzen kann, diesen jedoch besser in grüner Farbe darstellen sollte, um den Betrachter nicht unnötig zu verwirren. Tech-

nisch ist das kein Problem. Dennoch wird eine derartige Darstellung relativ selten erzeugt. Der Grund liegt in der Physiologie des menschlichen Sehvermögens. Empirische Untersuchungen zeigen, daß die unterschiedliche Brechung an der Iris von kurz- und langwelligem Strahlen einen gewissen Relief-Eindruck zugunsten der roten Farbtöne hervorruft. Praktisch bedeutet das, daß das menschliche Auge Nuancen im Rot-Blau-Wechsel viel intensiver wahrnimmt als im Grün-Blau-Wechsel. Deswegen kommt die Infrarotdarstellung in sog. Falschfarben dem menschlichen Farbunterscheidungsvermögen sehr entgegen.

Für den Aufbau der Infrarotdarstellung sind, neben dem Kanal 4 des TM-Sensors (nahes Infrarot im Bereich 700–900 nm) für die roten Farbanteile, noch der Kanal 3 (sichtbares Rot) für die grünen Farbanteile und der Kanal 2 (sichtbares Gelb) für die blauen Farbanteile verwendet worden. Aus diesem Grund erscheinen auch die Halterner Seen, die Lippe und die Kanäle schwarz, sofern nicht Wellenbewegungen oder Schwebstoffe Reflexionen des Untergrundes hervorgerufen.

Städtische und industrielle Verdichtungsbereiche erscheinen in verschiedenen Blau- bis Brauntönen, was sich durch fehlende oder sehr schütterere Vegetation erklären läßt. In den Waldgebieten finden wir eine Bandbreite mittlerer Rottöne bis hin zu fahlen Rottönen, die den Wechsel von Laub- zu Nadelwald signalisieren. Für die Farbvarianten der landwirtschaftlichen Flächen erleichtert die Kenntnis des Aufnahmezeitpunktes das Verständnis. In der zweiten Maihälfte steht bereits das Grünland in kräftigem Wachstum, erkennbar an den leuchtend roten Flächen. Die Ackerflächen erscheinen dagegen hellblau, was einerseits auf eine noch nicht geschlossene Vegetationsdecke und andererseits auf eine oberflächennahe Austrocknung durch kurz zuvor erfolgte Bearbeitung der Felder schließen läßt. Sie bilden sich in mittleren bis dunklen Blautönen ab.

Gerade für größermaßstäbige Überblickskartierungen der Vegetationsbedeckung sowie deren qualitative Veränderungen lassen sich derartige Infrarotdarstellungen hervorragend verwenden. Im Vergleich zu vorhandenen topographischen Karten sind so aktuelle Veränderungen, wie z. B. die Zu- oder Abnahme des Grünlandanteils in der Landwirt-

schaft, die Rechtfertigung für Subventionen zur Flächenstilllegung oder die Ausbreitung von sog. „Weihnachtsbaumkulturen“ in den Wiesentälern des Sauerlandes, schneller zu verifizieren.

### 3.2 VEGETATIONSINDEX (KARTE 2.2)

Während die Infrarotdarstellung mit ihrer bildhaften Darstellung dem Betrachter weiten Raum zur eigenen Interpretation einräumt, ist es bei der praktischen Arbeit und beim Vergleich zeitlicher oder räumlicher Entwicklungen hilfreich, objektivierte Auswertemethoden heranzuziehen. Für verschiedene klimaökologische Betrachtungen hat sich die Berechnung eines Vegetationsindex bewährt. Dabei wird die mit Vegetation (Blattmasse) bedeckte Fläche in Relation zur vegetationslosen Fläche gesetzt. Derartige Verhältniszahlen erlauben flächenbezogene Erkenntnisse z. B. über Desertifikationserscheinungen oder die Biomassenproduktion.

Die spektralen Reflexionseigenschaften von Pflanzen zeigen bei etwa 700 nm einen sprunghaften Anstieg des Reflexionsgrades im infraroten Bereich um etwa das Fünffache. Vegetationsloser Boden weist dagegen nur einen geringen gleichmäßigen Anstieg auf, Wasser sogar einen abfallenden Reflexionsgrad. Daher erhält man im Spektralkanal (4) des nahen Infrarot für Vegetation einen doppelt bis vierfach höheren Reflexionsgrad als für vegetationslose Flächen. Dagegen sind im Spektralkanal (3) des sichtbaren Rot die Reflexionswerte der vegetationslosen Flächen etwa gleich groß oder größer als die der Vegetationsflächen.

Aufgrund der geometrischen Auflösung des TM-Sensors von 30 x 30 m am Boden wird im allgemeinen eine solche Fläche in Mitteleuropa neben der Vegetation auch immer Anteile von blankem Boden oder Schatten enthalten. Daher zeigen die Reflexionswerte in den genannten Spektralbereichen jeweils fließende Übergänge. Aussagekräftiger ist zum Beispiel die Differenz aus Infrarot- und Rotsignalen, die für die Vegetationsbedeckung große positive Werte ergibt, während vegetationsfreie Flächen niedrige oder auch negative Werte aufweisen. Da die Albedo zusätzlich noch von atmosphärischen Faktoren und dem Sonneneinfallswinkel abhängig ist, somit Werten, die über große Flächen nicht ohne weiteres konstant sind, hat es sich bewährt, viele dieser Störeinflüsse auf einfache



Art durch Quotientenbildung zu eliminieren. Um zu vermeiden, daß an einzelnen Bildpunkten dabei durch Null dividiert wird, bildet man den Quotienten in Form des „Normalized Difference Vegetation Index“:

$$\text{NDVI} = \frac{\tau_{\text{IR}} - \tau_{\text{ROT}}}{\tau_{\text{IR}} + \tau_{\text{ROT}}}$$

Großflächige Untersuchungen über Mitteleuropa zeigen Bandbreiten des NDVI von 0 über Schnee oder Wasser bis etwa 0,65 über dichten Blattmassen, wobei in der Westfälischen Bucht im Rahmen der jahreszeitlichen Schwankung im März Werte zwischen 0,05 und 0,15 dominieren. Im April/Mai folgt ein starker Anstieg, der je nach Bodenbewirtschaftung einen NDVI zwischen 0,3 und 0,4 ergibt. Die Maximalwerte konzentrieren sich im Juni bei Werten um 0,5. Die der Karte 2.2 zugrunde liegenden Daten stammen von Ende Mai und zeigen im Grünland bereits Werte, die den Maximalwerten entsprechen, während die noch nicht geschlossenen Bestände der Ackerflächen durch einen deutlich niedrigeren NDVI gekennzeichnet sind.

Der Vergleich mit der nebenstehenden Infrarotdarstellung (Karte 2.1) zeigt die Bedeutung dieser Maßzahl für die Interpretation des Vegetationsbedeckungsgrades und des Vegetationszustandes. Die Klasse mit den höchsten NDVI-Werten über 0,55 findet sich in einem Band südlich der Lippe mit hohem Grünanteil und Restwaldflächen sowie nördlich der Lippe mit höheren Nadelwaldanteilen außerhalb der Waldflächen, hier in starkem Wechsel mit NDVI-Werten zwischen 0,15 und 0,25.

Das Beispiel der Bahnanlagen von Haltern und der kanalnahen Industrieflächen im Lippetal zeigt, daß Flächen mit Null-Werten für die NDVI auch außerhalb der Wasserflächen auftreten. Eine teilweise spärliche Durchgrünung zeigt sich dann in Werten der zweiten bis dritten, mit den Ackerflächen und Kiefernwäldern vergleichbaren NDVI-Stufe. Der Vergleich mit den Innenstädten von Recklinghausen und Herne macht deutlich, daß diese Städte ihrer Bedeutung entsprechend zwar größere verdichtete Kernbereiche aufweisen, daneben aber in der Durchgrünung der kernferneren Stadtviertel der Lippestadt Haltern nicht nachstehen. Die Emscher mit dem Rhein-Herne-Kanal wirkt als Leitlinie vegetationsloser Industrieareale, unterbro-

chen von einzelnen Grünzonen. Nordwestlich von Herne fallen der Emscherbruch mit NDVI-Werten um 0,5 und die (noch nicht voll erreichte) Begrünung von Berghalden auf.

### 3.3 REALNUTZUNG (KARTE 2.3)

Anders als bei Satellitenbildkarten (vgl. Karte 1), die möglichst weiten Raum für die individuelle Interpretation lassen, wird in der Regel die überwiegende Zahl der Satellitendaten auf einen bestimmten Zweck hin ausgewertet, der zum Beispiel die Ermittlung des aktuellen Zustands der Flächennutzung, die Realnutzung, sein kann (Karte 2.3). Zu diesem Zweck werden zunächst alle Spektralkanäle des entsprechenden Datensatzes in ein rechtwinkliges Koordinatensystem überführt und auf Pixelgrößen, entsprechend 25 x 25 m am Boden, neu berechnet. In Mitteleuropa geschieht das zweckmäßigerweise im Gauß-Krüger-System, da somit ein direkter Bezug zu den topographischen Karten gegeben ist. Aus diesen Karten werden auch die Koordinaten der Paßpunkte für die geometrische Entzerrung entnommen. Anschließend wird der multispektral entzerrte Datensatz einer unüberwachten Klassifizierung unterzogen, bei der über alle sechs Kanäle die weitgehend voneinander unabhängigen Klassen spektraler Reflexion ermittelt werden. Naturgemäß spielen die Vegetationsbedeckung, bodenspezifische Reflexionen, Bodenfeuchteanomalien und Baukörper dabei eine wichtige Rolle.

Allerdings sind auch Mehrdeutigkeiten nicht zu vermeiden. So weisen innerstädtische Parkanlagen teilweise gleiche Spektraleigenschaften wie bestimmte Waldflächen auf; auch können innerstädtische Teilflächen dem Spektralverhalten von Ackerflächen zu bestimmten Jahreszeiten sehr ähnlich sein. Um die Sicherheit der Klassifizierung zu erhöhen, ergibt sich die Möglichkeit, mehrere Satellitendaten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte vergleichend zu analysieren oder für Stadt- und Landbereiche getrennte Klassifizierungen durchzuführen. Da die erste Methode hinsichtlich der Datenbeschaffung sehr aufwendig ist, wurde hier das zweite Verfahren gewählt: Anhand des ersten Klassifizierungslaufs wurden die geschlossenen Baugebiete abgegrenzt sowie die weitere Klassenzuordnung zunächst für Stadtgebiete und Außengebiete getrennt durchgeführt und

anschließend die beiden Teilkarten wieder zu der jetzt vorliegenden zusammengefügt. Die Zuordnung der Ergebnisklassen der unüberwachten Klassifizierung zu den Legendenklassen erfolgt über die Interpretation von Beispielflächen anhand der originalen Bild- und unter Zuhilfenahme von Stichproben im Gelände, soweit nicht auch ersatzweise Karteninformationen herangezogen werden können.

Das Ergebnis zeigt entsprechend der spektralen Vielfalt teilweise sehr kleinräumige Wechsel („Pfeffer- und Salz-Muster“), die zwar real so gemessen worden sind, jedoch unserer selektiven Wahrnehmung widersprechen. Als Beispiel dafür kann man sich größere Grünlandflächen vorstellen, in denen aufgrund von Kiesbändern, Beweidung etc. einzelne Flecken mit Bewuchsdepressionen auftreten (spektral den Ackerflächen zuzuordnen), die aber viel zu klein sind, um realistisch bearbeitet werden zu können. Zur Reduktion derartiger „Rauscheffekte“ werden die Ergebnisdaten digital gefiltert und einzelne Pixel der dominierenden Nachbarschaftsnutzung zugeordnet.

Die räumliche Auflösung bewirkt außerdem, daß bei Wasserläufen, Eisenbahnen und Straßen mit einer Trassenbreite unter 30 m die klassifizierte Linienelemente nicht lückenlos erscheinen. Hier ist durch eine gezielte Überarbeitung am Bildschirm die Logik der Linienführung wiederhergestellt worden. Ein weiteres Beispiel für die nachträgliche Überarbeitung ist der Flughafen Paderborn-Lippstadt, bei dem die Klassifizierung zunächst Grünland mit einzelnen Straßenelementen (Beton der Landebahn) sowie einzelne Acker- und Siedlungspixel für die Aufstell- und Gebäudeflächen ergab. Hier erschien es sinnvoll, den Gesamtkomplex einer Klasse Flughafen zuzuordnen. Im Norden des Kartenausschnittes ist ein Teil des Truppenübungsgebietes Senne abgebildet, bei dem keine Bodenkontrollen durchgeführt wurden, aber zu vermuten ist, daß hier innerhalb der Klasse Ackerbau auch durch den Übungsbetrieb verursachte Ödflächen anzutreffen sind.

### 3.4 VERSIEGELUNGSGRAD (KARTE 2.4)

Im Rahmen raumordnerischer Diskussionen um die Erhaltung und Förderung unserer natürlichen Lebensgrundlagen wird sehr häufig mit dem Begriff der Versiegelung argu-

mentiert. Flächen, die durch Straßen oder Bebauung die natürliche Austauschfähigkeit der Kontaktzone Boden behindern oder unterbinden, sind mit Industrialisierung und Verstädterung inzwischen bundesweit in einer Größenordnung von 10 Prozent gewachsen. In den genannten Bereichen kann Niederschlagswasser nicht in den Boden hineinfiltrieren, führt zu starkem Oberflächenabfluß und einem Erosionsrisiko für angrenzende Flächen und muß z.T. mit erheblichem baulichen Aufwand kanalisiert abgeführt werden, wodurch Hochwasserrisiken in den Vorflutern und Flüssen steigen. Darüber hinaus bleibt dieser Oberflächenabfluß der lokalen Grundwasserneubildung entzogen, so daß teilweise in Innenstädten gepflanzte Straßenbäume systematisch künstlich bewässert werden müssen. Die Ermittlung des Versiegelungsgrades ist im Detail praktisch nicht zu leisten, da im städtischen Bereich alle Haus- und Hofflächen in ihren gepflasterten, bebauten oder offenen Flächenanteilen bewertet und gemessen werden müßten. Die Heranziehung von Satellitendaten stellt insofern eine Näherung dar, da hier über Flächen von 0,1 ha eine Integration erfolgt.

Für die Ermittlung des Versiegelungsgrades wird davon ausgegangen, daß die im Infrarot-Kanal meßbare Blattmasse als ein Indikator für fehlende Versiegelung genommen werden kann. Ohne detailliert auf Formeln einzugehen, läßt sich der Versiegelungsgrad für Stadtgebiete als umgekehrt proportional zum NDVI (Vegetationsindex) erklären. Für die Außengebiete müssen die Ergebnisse noch mit Werten der Realnutzungskartierung korrigiert werden um zu vermeiden, daß z.B. offener Boden (Ackerbau) wegen niedriger NDVI-Werte als versiegelte Fläche eingestuft wird.

Der Vergleich der Versiegelungskarte mit der Realnutzungskarte zeigt interessante Differenzierungen, die belegen, daß die Versiegelungskartierung unabhängige Ergebnisse z. B. von der Zuordnung städtischer Bauungsklassen liefert (Beispiel Paderborn). Dies mag für die Argumentation zugunsten einer notwendigen Reduktion von Flächenversiegelungen hilfreich sein und um tatsächliche Bedarfsgebiete besser eingrenzen zu können. Andererseits zeigen die Ergebnisse, wie auch bereits jetzt in städtischem Umfeld mit reduzierter Flächenversiegelung gebaut werden konnte. Für den Flughafenbereich Pader-

born-Lippstadt zeigt sich, anders als bei der Realnutzung, kein generalisiertes Bild, sondern das reale Verhältnis voll versiegelter Verkehrsanlagen zu einer teilversiegelten Gesamtanlage.

#### LITERATUR

- ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Eine Einführung in die Fernerkundung. Darmstadt
- ALTROGGE, G. (1989): Möglichkeit der Fernerkundung zur Feststellung und Bewertung von Umwelteinflüssen. In: JAESCHKE, A., W. GEIGER u. B. PAGE (Hg.): Informatik im Umweltschutz, Informatik Fachberichte 228, pp. 43-49. Berlin, Heidelberg, New York
- BLÜMEL, K. et al. (1988): Der Vegetationsindex für Mitteleuropa 1982-1985. Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin. Berlin
- BUITEN, H. J. u. J. G. P. W. CLEVERS (Hg.) (1990): Remote Sensing, theorie en toepassingen van landobservatie. Wageningen (= Dynamiek, inrichting en beheer van landelijke gebieden, 2)
- ENDLICHER, W. u. H. GOSSMANN (Hg.) (1986): Fernerkundung und Raumanalyse: Klimatologische und landschaftsökologische Auswertung von Fernerkundungsdaten. Karlsruhe
- GEOGRAPHISCHE RUNDSCHAU: Themenhefte „Fernerkundung“, 6/84, 10/89
- GIERLOFF-EMDEN, H. G. (1989): Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen - Allgemeine Grundlagen und Anwendungen. Wien (= Die Kartographie und ihre Randgebiete, IV/1)
- KÖTHE, K. u. K.-U. KOMP (1985): Thematische Luftbilddauswertung - ökologische Beurteilung von Umwelteffekten bei der Planung neuer Strecken. In: Eisenbahntechnische Rundschau, 34, S. 364-372
- KOMP, K.-U. (1982): Luftbildgestützte Erstellung umweltrelevanter Planungsdaten. Freiraumplanung als vorbeugender Umweltschutz. In: Material zur Angewandten Geographie, 6, S. 17-30. Hamburg
- DERS. (1984): Datensammlung für das Raumordnungsverfahren im Zuge der Bundesbahn-Ausbaustrasse Karlsruhe-Basel. In: Angewandte Fernerkundung: Methoden und Beispiele, S. 151-158. Hannover
- DERS. (1986): Planungskonsequenzen der stadtklimatologischen Auswertung thermaler Flugzeugmeßdaten für die Praxis der Flächennutzungsplanung. In: Die Nutzung von Fernerkundungsdaten in der Bundesrepublik Deutschland - BMFT Statusseminar, DGLR-Bericht, 86-01, S. 61-67. Bonn
- DERS. (1986): Luftbildmessung im Dienste des Umweltschutzes - Erfassungsmethoden und Planungsgrundlagen für Umweltvorsorge und Landschaftsplanung. In: BDVI - Forum 4/1986, S. 425-435
- KOMP, K.-U., K. SCHMIDT-OSTLENGER u. H. C. TIELBAAR (1988): Habitat Network Planning integrated in Infrastructural Planning Schemes. In: Connectivity in Landscape Ecology. Proceedings of the 2nd International Seminar of the „International Association for Landscape Ecology“, pp. 213-214. Muenster
- KOMP, K.-U. (1989): Environmental Impact Assessment by Remote Sensing Techniques in the Frame of Regional Development Schemes. In: Haztech Canada 1989, Conference Proceedings, pp. 180-193. Edmonton
- DERS. (1991): Fernerkundung - Instrument für die Entwicklungszusammenarbeit (Remote Sensing - Tools for Development). Eschborn (= Schriftenreihe der GTZ, 221)
- LILLESAND, T. M. u. R. W. KIEFER (1990): Remote Sensing and Image Interpretation. New York
- SCANVIC, J.-Y. (1983): Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre (= BRGM, Manuels et Méthodes, 7)
- TROLL, C. (1939): Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. In: Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, S. 241-298
- DERS. (1942): Die wissenschaftliche Luftbildforschung als Wegbereiterin kolonialer Erschließung. In: Beiträge zur Kolonialforschung 1, S. 1-29. Berlin
- DERS. (1943): Methoden der Luftbildforschung. In: Sitzungsberichte europäischer Geographen, Würzburg 1942, S. 121-146. Leipzig
- DERS. (1963): Geographische Luftbildinterpretation. Transactions of the Symposium on Photo Interpretation, Delft, Sept. 1962. In: Archives Internationales de Photogrammetrie, XIV, pp. 266-275

Anschrift des Verfassers: Dr. Klaus-Ulrich Komp, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Steinfurter Str. 107, D-4400 Münster