

3 DIE DATENGRUNDLAGEN

Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten erstellte Vegetationskarte, die an ein bereits bestehendes Kartenformat angepaßt ist. Für die Analyse von Fernerkundungsdaten und für die Kartenerstellung sind zusätzliche Informationen erforderlich.

3.1 ANALOGE DATEN

Amtliche topographischen Karten von El Hierro liegen in den Maßstäben 1:50.000¹ und 1:25.000² in UTM-Projektion vor (28 Nord AR/BR). Geodätische Koordinaten für die kanarischen Inseln beziehen sich auf das Internationale Ellipsoid nach Hayford, geodätisches Datum ist für alle Inseln das Datum von Pico de las Nieves, dem höchsten Berg auf Gran Canaria (1950 m). Die Höhenangaben beziehen sich auf das mittlere Meeresspiegelniveau jeder einzelnen Insel.

Durch die geometrisch eingeschränkte Auflösung von Satellitendaten liegt die Grenze der korrekten Darstellbarkeit topographischer und thematischer Sachverhalte bei einer Maßstabsgrenze von etwa 1:50.000 (HAKE/GRÜNREICH 1994, S. 274 f; ALBERTZ 1991, S. 155 f). Grundlage für dieses Arbeit ist die topographische Karte im Maßstab 1:50.000 in der Ausgabe von 1993.

Alle bereits in Kapitel 2 erwähnten Informationen zu Klima, Böden und Vegetation fließen als analoge Daten in diese Arbeit ein. Sie liegen fast ausschließlich in schriftlicher Form vor, den seltenen Darstellungen in kartenähnlicher Form lassen sich topographische Bezugspunkte nur bedingt entnehmen. Für eine digitale Bearbeitung sind sie nur mit Einschränkungen geeignet, liefern aber Zusatzinformationen im Rahmen der Dateninterpretation. Gleiches gilt auch für die bisher einzige Vegetationskarte El Hierros, die Bestandteil der Diplomarbeit von FAUST-LICHTENBERGER ist. Ihre konventionell hergestellte Karte wird zum Vergleich mit der auf digitalem Weg erzeugten Karte herangezogen.

3.2 DIGITALE DATEN

3.2.1 HÖHENINFORMATIONEN

Im Rahmen einer Vegetationsanalyse ist es angebracht, vorhandene Vegetationseinheiten in ihrer Beziehung zu Sonnenexposition und Höhe des Standortes zu untersuchen. Die Verwendung digitaler Höheninformationen war daher erforderlich.

¹ Mapa Militar de España, L 17/18-22, Valverde Blattnr. 34/35-43/44, 1 Kartenblatt, 1. Auflage 1993, eine ältere Ausgabe in 2 Kartenblättern, 2. Auflage 1978.

² Mapa Militar de España, Serie 5V, 5 Blätter 68/86-88 und 69/85-89.

Auf den UTM-Karten im Maßstab 1:50.000 von El Hierro sind die Isohypsen in Äquidistanzen von 20 m wiedergegeben. Im Zentrum beträgt die horizontale Ausdehnung der Insel in NW/SO-Richtung etwa 9 km. Die Höhenunterschiede, verursacht durch die beiden Steilkanten, betragen in diesem Bereich annähernd 1400 m. Durch Gefälle von teilweise mehr als 75 % liegen die Isohypsen sehr dicht beieinander, auch darüber hinaus sind die Höhenlinien wegen der starken Reliefunterschiede visuell kaum zu verfolgen. Eine manuelle Digitalisierung der Höhenlinien kam deshalb nicht in Betracht. Die Höheninformationen wurden im Maßstab 1:50.000 als digitaler Datensatz bei der Abteilung *Servicio Geográfico del Ejército* des spanischen Verteidigungsministeriums erworben.

3.2.1.1 BESCHREIBUNG DER DATEN UND DATENQUALITÄT

Die Daten im DGN-Format waren nach Auskunft des *Servicio Geográfico* automatisch mit *Microstation Intergraph* von einer Vinylkartenvorlage hergestellt und manuell nachgebessert worden. Über geometrische Genauigkeit und geomorphologische Richtigkeit in den amtlichen spanischen Karten war keine verbindliche Information zu erhalten. Nach Auskunft des **ING** (*Instituto Nacional Geográfico*) sind die Höhenlinien der kanarischen Inseln durch photogrammetrische Verfahren erzeugt worden. Die geometrische Präzision photogrammetrisch erstellter Karten im Maßstab 1:50.000 soll, abhängig von der Abruptheit der Reliefänderungen und des Aufnahmemaßstabes während der Überfliegung, ca. ± 3 m betragen. In geomorphologischer Hinsicht soll die Genauigkeit bei etwa $0,002 \cdot \text{Maßstab}$ liegen, in diesem Fall also bei ca. 10 m³. Diese Werte liegen unter den deutschen Vereinbarungen zur geometrischen Genauigkeit topographischer Karten. Bei einem Kartenmaßstab von 1:50.000 muß mit einer Abweichung von $\pm 0,8$ bis 2 m gerechnet werden. Die Beurteilung der geomorphologischen Richtigkeit ist auch in deutschen Karten schwierig (HAKE/GRÜNREICH, S. 390). Alle Abweichungen und Unsicherheiten fließen in die digitalisierten Daten ein. Sie verstärken sich zwangsläufig bei der Transformation von Vektordaten zu Rasterdaten, die zur Interpolation eines **DHM** (**D**igitales **H**öhen**M**odell) benutzt werden können (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Bei der Beurteilung der Genauigkeit des Ergebnisses sowie bei den Ansprüchen, die an eine maximale Genauigkeit der Karte zu stellen sind, müssen sie berücksichtigt werden.

3.2.2 FERNERKUNDUNGSDATEN

Es werden viele Arten von Fernerkundungsdaten hergestellt. Sie unterscheiden sich durch die Träger der Aufnahmegereäte und durch die Aufnahmeeigenschaften der Aufnahmege-

³ Nach einer persönlichen Information von Dr. Miguel A. Bernabe, Dep. Ingeniería Topográfica y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid.

räte stark voneinander (vgl. z. B. ALBERTZ 1991, LILLESAND/KIEFER 1994). Daten können mit fotografischen Ausrüstungen gewonnen werden, damit wird ein Gesamtbild einer größeren Gelände­fläche wiedergegeben; mit multispektralen Scannern, sie „tasten“ die von einem kleinen Flächenelement ausgehende elektromagnetische Strahlung ab; durch aktive Aufnahmeverfahren, bei denen das Aufnahmesystem selbst die elektromagnetische Strahlung (Radarwellen) erzeugt und deren Reflexion mißt. Alle Geräte können an Bord von Flugzeugen oder an Bord eines Satellitensystems installiert sein. Die gelieferten Informationen haben unterschiedliche radiometrische und geometrische Auflösungen. Die geometrische Auflösung wird u. a. durch die Höhe des Aufnahmeg­erätes über Grund beeinflusst. Die Interpretation der gewonnenen Daten ist abhängig von der jeweiligen Aufnahmetechnik. Je nach Aufgabenstellung sollen die am besten geeigneten Daten genutzt werden, eine Anforderung, die trotz der Datenflut häufig an der mangelnden Verfügbarkeit scheitert. Zur kleinräumigen Analyse von Vegetationseinheiten besonders geeignet sind aus einem Flugzeug aufgenommene Daten eines abbildenden Spektrometers (Hyperstpektral­daten), solche Daten liegen für die Insel El Hierro bisher nicht vor.

3.2.2.1 DATENBESCHAFFUNG

Das Ziel dieser Arbeit erforderte Fernerkundungsdaten mit möglichst hoher radiometrischer und geometrischer Auflösung, die allerdings noch weitere Kriterien erfüllen müssen.

- Wegen des semiariden Klimas, in dem ergiebige Regenfälle nur in den humiden Monaten November bis Februar auftreten, und dem daraus resultierenden Maximum grüner Vegetation im Februar/März sollten die Aufnahmen aus diesem Zeitraum sein.
- Der Aufnahmezeitpunkt sollte möglichst nahe dem Sonnenhöchststand liegen, um durch das Relief erzeugte Schatteneinflüsse zu minimieren.
- Die Wolkenbedeckung über der Insel sollte während des Aufnahmezeitpunktes nahe 0 % betragen, was durch den Einfluß des Nordwestpassat auf El Hierro nur selten der Fall ist. Zudem erreicht die Wolkenbedeckung ihre größte Mächtigkeit zur Zeit des Sonnenhöchststandes.

Allein diese zusätzlichen Anforderungen gestalteten die Suche nach geeigneten Daten zu einem zeitraubenden Unterfangen. Erst nachdem mehrere kommerzielle Vertreiber mit der Recherche beauftragt worden waren, konnte durch die **GAF** (Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung mbH) eine Szene ermittelt werden, die den Anforderungen entsprach. Es handelt sich um die **SPOT-2** Szene Nr. 2 12-294, aufgenommen am 26.03.94 um 11:45 Uhr (siehe Abb. 2-1). Diese Daten bilden die Grundlage der vorliegenden Untersuchung.

3.2.2.2 MERKMALE DES SPOT-AUFNAHMESYSTEMS

Das Erdbeobachtungsprogramm **SPOT** (**S**ystème **P**robatoire d'**O**bservation de la **T**erre) wurde 1978 als nationales französisches Programm ins Leben gerufen, es hat sich inzwischen zu einem internationalen kommerziellen Programm entwickelt. 1986 erfolgte der Start des ersten **SPOT**-Satelliten, 1993 nahm **SPOT-3** die Arbeit auf. An Bord aller Satelliten befinden sich identische optoelektronische Scanner, die panchromatische Daten und multispektrale Aufnahmen aus dem sichtbaren Grün und Rot sowie dem nahen **InfraRot (nIR)** liefern. Die Umlaufbahnen aller **SPOT**-Satelliten sind ebenfalls identisch. Gegenwärtig (Februar 1998) operieren die Satelliten **SPOT-2** und **-3**⁴, der Start von **SPOT-4** erfolgt im März 1998, er wird zusätzlich mit einem Aufnahmekanal für Daten aus dem mittleren Infrarot und einem zusätzlichen Sensor ausgestattet, genannt **Vegetation Monitoring Instrument (VMI)**, der in einer geometrischen Auflösung von 1 km tägliche Aufnahmen der gesamten Erdoberfläche liefert, (LILLESAND/KIEFER, S. 496 f⁵). Um kontinuierlich vergleichbare Daten zur Verfügung zu stellen, wurde **SPOT** als Langzeitbeobachtungsprogramm geplant.

3.2.2.2.1 FLUGEIGENSCHAFTEN UND AUFNAHMETECHNIK

Die **SPOT**-Satelliten umkreisen die Erde in einer Höhe von 830 km mit einer Neigung von $98,7^\circ$ in einem zirkulären, polnahen sonnensynchronen Orbit. Durch die Bahnneigung gegen den Äquator werden Daten von **SPOT** nur zwischen 84°N und 84°S aufgenommen. Der sonnensynchrone Umlauf ermöglicht eine tägliche Überquerung des Äquators zur annähernd gleichen Ortszeit, wodurch immer ähnliche Aufnahmebedingungen gegeben sind (LILLESAND/KIEFER, S. 487). Die Rotation der Erdkugel bewirkt eine tägliche Versetzung der Aufnahmespuren in westlicher Richtung. Jedem **SPOT**-Satelliten ist es möglich, ei-

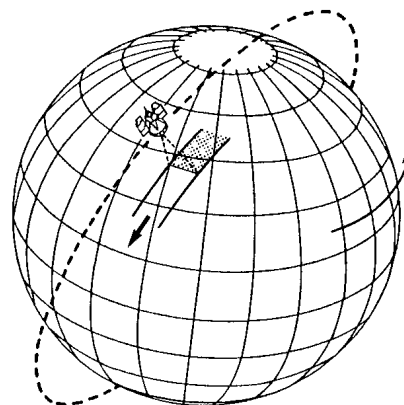


Abb. 3-1 Polnahe, sonnensynchrone Satellitenumlaufbahn.
Bildquelle: ALBERTZ, S. 47.

nen gegebenen Punkt auf der Erdoberfläche im Abstand von 26 Tagen im gleichen Winkel aufzunehmen. Durch den gleichzeitigen Betrieb von **SPOT-2** und **-3** verkürzt sich die Zeit zwischen den möglichen Aufnahmen auf 13 Tage.

⁴ Information der Dornier Satellitensysteme GmbH, Earth Observation Data Services.

⁵ Die NASA liefert unter der Internet-Adresse <http://liftoff.msfc.nasa.gov/realtime/jtrack/3d/JTrack3d.html> aktuelle Daten der im Umlauf befindlichen Satelliten und Weltraumstationen.

SPOT-Satelliten sind mit optoelektronischen Scannern ausgerüstet. Das führt gegenüber optisch-mechanischen Scannersystemen wie z.B. Landsat-Thematic Mapper (**TM**) zu besseren geometrischen Eigenschaften der übermittelten Bilddaten. Optisch-mechanische Systeme sind mit einem mechanischen Schwenkspiegel ausgerüstet, der die Erdoberfläche zeilenweise quer zur Flugbahn abtastet. Zusätzlich zur Verzerrung durch die Rotation der Erdkugel während der Aufnahme führt dies zu weiteren Verzerrungen und Überlappungen an den Rändern der Aufnahmestreifen und zu zeilenweisem „Rauschen“, weil Bildzeilen abwechselnd in W/O- und O/W-Richtung aufgenommen werden (vgl. LILLESAND/KIEFER, S. 470 f, LÖFFLER, S. 43 f, ALBERTZ, S. 44 f). Im Gegensatz dazu ermöglichen je zwei identische **HRV**-Sensorsysteme (*Instrument Haute Résolution Visible*) an Bord jedes **SPOT**-Satelliten, alle Pixel einer quer zur Flugrichtung orientierten Bildzeile gleichzeitig zu erfassen (ALBERTZ, S. 50). Diese Sensoren werden auch als **CCD-Sensoren** (Abb. 3-2) bezeichnet

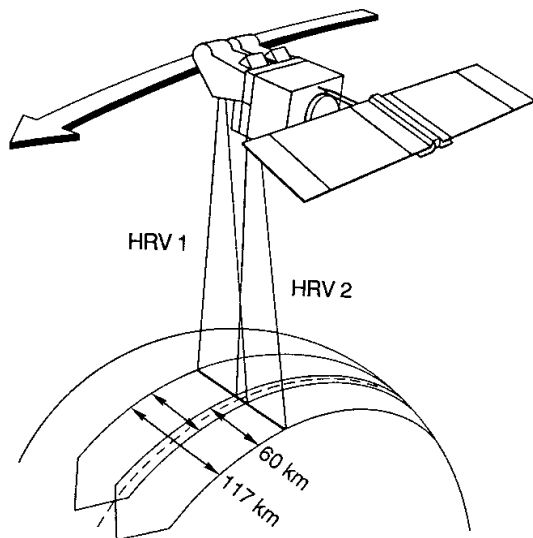


Abb. 3-3 Die Nadir-Aufnahme von **SPOT** ermöglicht die Aufnahme zweier 60 km breiter Streifen in einer 117 km breiten Zone. Bildquelle: ALBERTZ, S. 51.

sche Darstellungen gewonnen werden, die sich nach photogrammetrischer Auswertung zur topographischen Kartierung eignen.

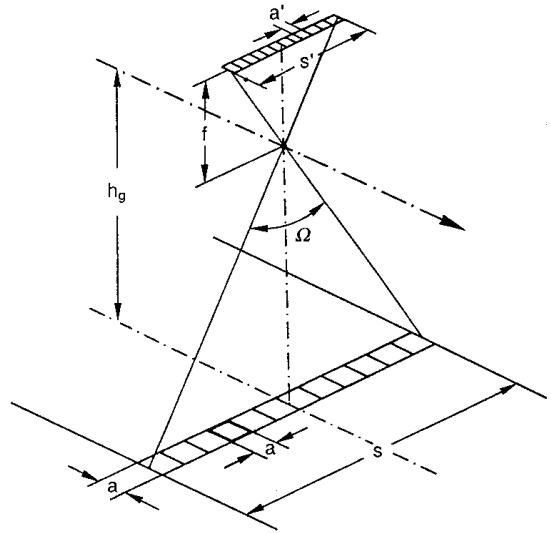


Abb. 3-2 Bildaufnahme in Flugrichtung mit CCD-Sensor. Bildelemente einer Zeile werden gleichzeitig aufgenommen. Bildquelle: ALBERTZ, S. 50.

(vgl. dazu ALBERTZ, S. 50; LILLESAND/KIEFER, S. 113 f u. 364 f). Die Bildzeilen werden in Form eines Videosignals gespeichert und von terrestrischen Stationen abgerufen, wenn sie vom Satelliten überflogen werden.

Zusätzlich ist es möglich, die Neigung der an Bord befindlichen Sensoren bis zu einem Winkel von 27° nach beiden Seiten hin zu verstellen. Dadurch können Aufnahmen von Gebieten außerhalb des Nadir (senkrecht unter dem Satelliten befindliche Aufnahmestreifen) realisiert werden. Damit lassen sich ebenfalls Wiederholungszeiträume der Aufnahmen verkürzen oder es können stereoskopische

Darstellungen gewonnen werden, die sich nach photogrammetrischer Auswertung zur topographischen Kartierung eignen.

Durch die Schrägsicht wird dabei die Breite des Aufnahmestreifens auf 80 km erhöht. Wegen dieser Verzerrung leidet die geometrische Genauigkeit der Daten. Die für diese Arbeit benutzte Szene wurde mit einem Verstellwinkel von $26,2^\circ$ nach rechts (d. h. nach Westen) aufgenommen, die dadurch entstandene Verzerrung hat sich im Verlauf der Arbeit unangenehm bemerkbar gemacht (vgl. Kapitel 4.2.2.2).

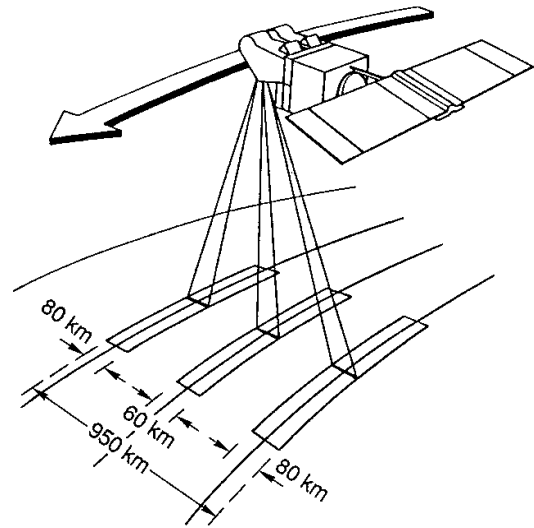


Abb. 3-4 Off-Nadir-Aufnahmen sind in bis zu 80 km breiten Streifen in einer 950 km breiten Zone möglich. Bildquelle: ALBERTZ, S. 51.

3.2.2.2 RADIOMETRISCHE UND GEOMETRISCHE AUFLÖSUNG DER DATEN

Alle in der Erdbeobachtung eingesetzten Scannersysteme registrieren die Reflexionseigenschaften von Geländeoberflächen. Weil von allen Objekten immer nur ein Teil der auftreffenden Strahlung reflektiert wird, ist die Unterscheidung einzelner Phänomene und ihre bedingte Zuordnung zu bestimmten Gruppen möglich. Von zentraler Bedeutung für die Fernerkundung ist der Reflexionsgrad r und seine Abhängigkeit von der Wellenlänge λ der Strahlung. (...) Da (...) jedoch auch die Eigenschaften der Objektflächen große Variationen aufweisen, sind Reflexionskurven nur bedingt zu vergleichen. Dennoch läßt sich für viele Oberflächenarten ein charakteristischer Verlauf der Reflexionskurven angeben, dessen Kenntnis von großem praktischen Nutzen ist (ALBERTZ, S. 19).

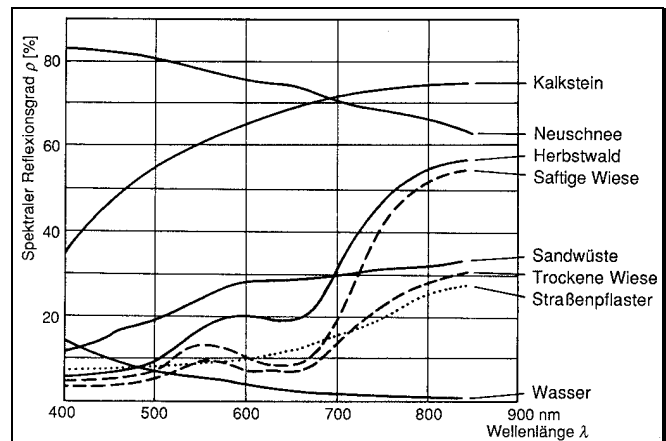


Abb. 3-5 Spektrales Reflexionsverhalten verschiedener Oberflächen. Bildquelle: ALBERTZ, S. 19.

Besonders wichtig für eine Vegetationsanalyse ist die Differenz reflektierter Strahlung zwischen dem sichtbaren und dem infraroten Spektralbereich. Bei $0,7 \mu\text{m}$, dem Übergang von sichtbarem Rot in den Spektralbereich des **nIR**, steigt der Reflexionsgrad grüner Pflanzen stark an. Dieses Reflexionsverhalten hängt eng mit der Wasserversorgung und der Vitalität der Pflanzen zusammen, es unterliegt im Laufe einer Vegetationsperiode jahreszeitlichen Schwankungen. Vegetation erscheint grün, weil von den chlorophyllhaltigen Blattpigmenten, den Chloroplasten, blaues und rotes Licht weitgehend absorbiert und grünes reflektiert wird. Einfallende infrarote Strahlung wird zusätzlich an den Zellwänden und den luft- bzw. wassergefüllten Hohlräumen

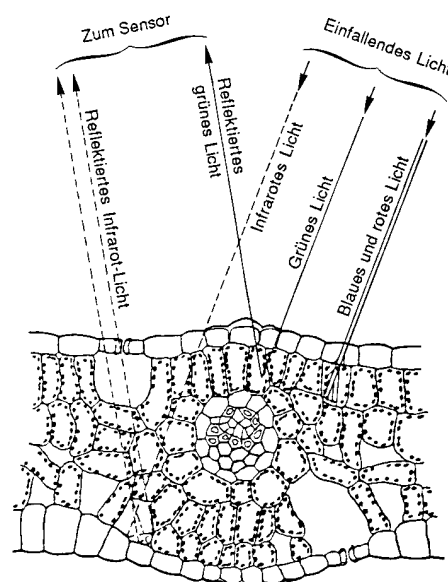


Abb. 3-6 Schema von Absorption und Reflexion grüner Blätter.
Bildquelle: ALBERTZ, S. 20.

des Mesophyll mehrfach gespiegelt und damit verstärkt reflektiert (ALBERTZ, S. 19 f, LÖFFLER, S. 166).

Die beiden **HRV**-Sensoren der **SPOT**-Satelliten können Daten wahlweise im sogenannten **XS**-Mode in drei Spektralkanälen (Grün, Rot, **nIR**) oder in einem panchromatischen Kanal aufnehmen. Mit nur zwei Aufnahmekanälen im sichtbaren Licht und einem Kanal im nahen Infrarot ist die radiometrische Auflösung der Daten verglichen z. B. mit Landsat-**TM** geringer. Landsat-**TM** deckt mit Daten aus sieben Aufnahmekanälen einen weitaus größeren Bereich der elektromagnetischen Strahlung ab. Die geringere radiometrische Auflösung ist ein Nachteil des **SPOT**-Systems, der aber für diese Arbeit nicht gravierend ist. Einerseits sind die für die Vegetationsanalyse wichtigsten Spektralbereiche Rot und **nIR** ausreichend wiedergegeben, andererseits besteht der größere Vorteil in einer höheren geometrischen Auflösung der **SPOT**-Daten.

Spektralbereich	SPOT2 multispektral	SPOT2 panchromat.	Landsat-TM
Blau			0.42 - 0.52 μm
Grün	0.50 - 0.59 μm	0.51 μm	0.52 - 0.60 μm
Rot	0.61 - 0.69 μm	bis	0.63 - 0.69 μm
nahes IR	0.79 - 0.89 μm	0.73 μm	0.76 - 0.90 μm
mittleres IR			1.55 - 1.73 μm
thermales IR			2.08 - 2.35 μm
			10.4 - 12.5 μm
Pixelauflösung	20 m x 20 m	10 m x 10 m	Aufl. 120 m x 120 m 30 m x 30 m

Tabelle 3-1 Radiometrische und geometrische Auflösung von **SPOT**-Daten im Vergleich zu Landsat-**TM**.

SPOT-Datensätze werden im *band-interleaved by line* (BIL)-Format auf CD-ROM geliefert. Der panchromatische Datensatz bestand aus 7685 x 5986 Pixeln, der multispektrale aus 3820 x 8985 Pixeln. Mit dem Modul BILIDRIS wurden die Daten im **IDRISI**-System zu Image-Dateien konvertiert. Die multispektralen Daten wurden dabei getrennt und in drei Images (Daten aus dem Grün-, dem Rot- und dem nahen Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums) zu je 3820 x 2995 Pixeln gespeichert.

SPOT-Daten können mit unterschiedlichen Korrekturen geliefert werden. Bei den hier verwendeten Daten waren eine einfache radiometrische Korrektur (Kalibrierung der von den Sensoren übermittelten Daten) und eine einfache geometrische Korrektur (Ausgleich der durch Erdkrümmung und -rotation entstandenen Verzerrungen, Beziehung auf das Referenz-Ellipsoid WGS84) vorgenommen worden. Die Z-Werte der Pixel geben nicht mehr den prozentualen Anteil der reflektierten Strahlung in den entsprechenden Bereichen des elektromagnetischen Spektrums wieder, sondern sind in 256 Graustufen, sogenannte **DNs** (**D**igital **N**umbers) je Image aufgelöst.