

## 3 Datenerfassung

### 3.1 Erfassung topografischer Karten

#### 3.1.1 Entwicklungsgeschichte der ägyptischen topografischen Karten

Der erste Versuch, ein topografisches Kartenwerk von Ägypten herzustellen, wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts während des französischen Feldzuges unternommen.<sup>139</sup> Die als Atlas zusammengefassten Karten im Maßstab 1:100.000 deckten das Nildelta und das ganze Niltal ab. Sie sind schon relativ detailreich und zeigen vor allem Siedlungen, Straßen und Bewässerungskanäle.

Als zweiter Versuch gelten die Karten von L. DE BELFON,<sup>140</sup> die er zwischen 1860 und 1865 erstellte. Da sie aber im Maßstab 1:200.000 angefertigt wurden, zeigen sie eine geringere Inhaltsdichte.

Einen weiteren Versuch unternahm der Astronom Mahmoud Pascha in den folgenden Jahren. Mit seinen topographischen Karten erfasste er die wichtigsten Teile Ägyptens in verschiedenen Maßstäben, so das Nildelta im Maßstab 1:200.000, dagegen El-Qalubiyah, Minya und Gharbiya im Maßstab 1:100.000. Auch hier werden neben dem Verlauf des Nils, einschließlich seiner Nebenarme, Verkehrswege und Siedlungen dargestellt. Wegen fehlender Verwaltungsgrenzen eigneten sich diese Karten aber nicht für die Abschätzung der Steuereinnahme.<sup>141</sup>

Die Erstellung dieser Karten erfolgte während der Anlage eines Trilaterationsnetzwerkes mittels Messtisch. Dabei wurden Vermessungspunkte mit bekannten Koordinaten festgelegt (Trigonometrische Punkte).<sup>142</sup> Damit gelten die topografischen Karten als Ergebnis des ersten Versuches, ein solches Trilaterationsnetz in Ägypten aufzubauen.

Im Jahre 1898 wurde mit staatlichen Mitteln die Egyptian General Survey Authority (ESA) ins Leben gerufen. Diese hat mit einer neuen Planung begonnen, um präzise Landkarten für Ägypten zu erstellen, indem man ein Triangulationsnetz erster Klasse legte. Jede Dreiecksseite innerhalb dieses Netzes beträgt 40 km, darauf aufbauend wurde ein zweites Netz angelegt, in dem jede Seite 25 km beträgt.<sup>143</sup> Dieses Netz tritt mit dem ersten Netz und einem dritten in Verbindung, indem jede Seite 4 km beträgt. Darauf aufbauend wurden ab 1902 mit Hilfe des Messtisches detaillierte topografische Karten für Daqahliya und Qalyubiya entwickelt. Später erfolgte dies bis 1906 auch für alle Gouvenerate Südayptens (außer Giza).

ESA begann damit, Katasterkarten für die dichter besiedelte Fläche Ägyptens zu erstellen, nachdem Lagefestpunkte vermarktet wurden. Von den Wohngebieten wurden auch Karten im Maßstab 1:1.000 angefertigt.<sup>144</sup> In der Zeit von 1927-1942 entstanden neue Katasterkarten für Ägypten im Maßstab 1: 2.500, darauf erstellte man ägyptisch topografische Karten. Diese Karten wurden bis 1: 10.000 verkleinert und in blauen Ausgaben gedruckt. Die topografischen Karten wurden entsprechend des Maßstabs generalisiert. Daraus wurde auch die topografische Karte 1: 25.000 entwickelt. Die Anzahl dieser Landkarten betrug im Jahr 1966 434. Diese Katasterkarten für das Niltal und das Delta gilt als Basis für den topografischen ägyptischen Atlas.<sup>145</sup>

Mit Hilfe der neuen Technologien der Luftbildvermessung war es nun möglich auch großflächige Wüstenbereiche Ägyptens zu vermessen. Diese Methode kam nach und nach in ganz Ägypten zur Anwendung. Derzeit wird ein präzises geodätisches Netz angelegt, das ganz Ägypten umfassen soll. Die ersten Phase beinhaltet die Zone 31° Ost. Es wurde auch ein geodätisches Datum erstellt, die sich auf Ausgleichungen des Ellipsoiden im Weltsystem WGS84 stützt.<sup>146</sup> Dies bietet die Gelegenheit, mit jedem Koordinatensystem in größeren Projekten zwischen Ägypten und den anderen Staaten in Kontakt zu treten. Während der letzten zwei Jahrzehnte des vorherigen Jahrhunderts bekam das ESA Zuschüsse in Höhe von 50 Millionen Dollar Entwicklungshilfe von europäischen Staaten und den USA in Form von folgenden Projekten:<sup>147</sup>

<sup>139</sup> ELWAN, 1990, 9

<sup>140</sup> ELWAN, 1990, 9

<sup>141</sup> ELWAN, 1990, 10

<sup>142</sup> IBRAHIM, 1987, 49

<sup>143</sup> IBRAHIM, 1987, 50

<sup>144</sup> IBRAHIM, 1987, 50

<sup>145</sup> ELWAN, 1990, 12

<sup>146</sup> IBRAHIM, 1998, 4

<sup>147</sup> IBRAHIM, 1998, 4

- „1. Erfassung von topografische Karten mit Maßstab 1:50.000 für die östliche Wüste und das Niltal. Diese Landkarten wurden auf 1:250.000 verkleinert (ägyptisch-finnisches Projekt).
2. Erfassung von digitalen topografischen Karten mit unterschiedlichen Maßstäben für manche Provinzen (ägyptisch-amerikanische Projekte). In diesem Projekt wurden die topografischen Karten 1:50.000 für das Niltal und -delta mit Hilfe von Luftbildvermessung im Jahre 1990 bzw. 1991 erstellt. Die Projektkontrolle fand in Untersuchungsgebieten 1992 statt. Diese Karten dienten als Basis für die topografischen Informationen die in dieser Arbeit zur Anwendung kommen.
3. Erfassung eines vielschichtigen Katastersystems (ägyptisch-deutsches Projekt).
4. Es werden gegenwärtig der Vertrag des ägyptisch-französischen Projekts formuliert, an dem das geographische französische Institut L.G.N. teilnimmt, mit dem Ziel die Technik des Satelliten SPOT zur Erstellung von topografischen Karten 1:50.000 für die West-Wüste zu verwenden.“

Die ägyptischen topografischen Karten weisen folgende Merkmale auf:

### *1. Maßstab*

Es wurden vier Hauptmaßstäbe für die ägyptischen topografischen Karten festgelegt:

- Maßstab 1:500.000. Die Landkarte dieses Maßstabes bedecken Ägypten in 12 Blättern, jede Karte deckt  $4^\circ$  mal  $2,5^\circ$  ab. In ihr wurde grüne Farbe für die Ackerböden verwendet und braune Farbe für die Wüstenböden. In diese Karten wurde ein Höhenlinienabstand von 10 m verwendet. Die blaue Farbe wurde für die Bewässerungskanäle benutzt, während die rote Farbe für die Straßen und die schwarze für Schrift verwendet wurde.
- Maßstab 1:300.000. Als Basis diente die topografische Karte 1:50.000, 1:100.000. Erfasst wurden die Verkehrswege des Nildeltas und von Fayyum, Südägypten. Diese Kartenserie zeigt außerdem geografische Elemente wie Ackergebiete, Städte, Dörfer und Verwaltungsgrenzen.
- Maßstab 1:100.000. Dies ist der vorherrschende Maßstab für topografische Karten Ägyptens. In Ägypten besteht eine Reihe von Landkarten dieses Maßstabs in Form des topografischen Atlas Ägyptens. Dieser beinhaltet 4 Bände: erster Band: das Nildelta, zweiter Band: Niltal, dritter Band die östliche Wüste, Sinai sowie der vierte Band: die westliche Wüste. Die Tafeln dieses Atlas wurden in arabisch und englisch gedruckt. Der Höhenlinienabstand in den Landkarten der Ackergebiete innerhalb des Tals und Delta beträgt 1 m, am Rande des Kulturlandes 5 m und 25 m in den Gebieten der Wüste. Mit Hilfe von Schraffuren wurden die Berggebiete dargestellt. Es wurde die graue Farbe benutzt um Siedlungsgebiete festzulegen sowie drei Stufen der grünen Farbe um die Ackergebiete zu schattieren. Darauf wurde die rote Farbe für alle Arten der Wege verwendet. Die Eisenbahnen wurden mit schwarz gezeichnet. Die Größe der Kartenblätter in diesem Maßstab beträgt 60 x 40 km.
- Maßstab 1:50.000: Manchmal heißen Karten diesen Maßstabs Trainingskarten. Sie werden für militärische Zwecke verwendet. Die Blätter dieser Kartenserie umfassen nicht alle Teile Ägyptens, sondern sie erstrecken sich auf bestimmte Gebiete wie z.B.: Gebiete östlich und westlich von Kairo, Minkad, Aswan, Al-Amria sowie Al-Arish. Die Äquidistanz der Höhenlinien beträgt in Wüstenbereichen 50 m, in dicht besiedelten Gebieten 0,5 m. Landkarten diesen Maßstabs bedecken fast alle Teile des Niltals und -deltas. Erstellt wurden neue Karten 1997 im Rahmen des ägyptisch-amerikanischen Projekts (siehe oben).
- Maßstab 1:25.000: Die Landkarten dieses Maßstabs decken das Niltal und -delta sowie einige der wichtigsten Gebiete in der West-Wüste und des Sinai ab. Die Kartenblätter dieses Maßstabs beinhalten fünf Farben: blau für die Gewässer, braun für Bodenerhebung, grün für die landwirtschaftliche Nutzflächen, schwarz für die Siedlungen sowie grau für schriftliche Erläuterungen bzw. Ergänzungen.

### *2. Geodätische Grundlagen*

Zur Anwendung kommt die Transverse Mercator Projektion, mit einem Ellipsoiden von Helmert 1906. Diese Projektion wird in allen Kartenblättern des ägyptischen topografischen Atlas verwendet.

Ägypten wurde in drei Zonen aufgeteilt, jede Zone ist  $4^\circ$  breit, so dass der Mittelmeridian jede Zone in zwei Grad breite Streifen aufteilt. Dieses Koordinatensystem wurde angelegt um die Verzerrung in der Karte zu vermindern. (Abb. 9)

- **Zone 31° Ost (Rotes System):**  
Dieses System beinhaltet das ausgedehnte Gebiet zwischen den Längengraden: 29° und 33°, d.h. sie umfasst das Niltal, Nildelta, die dem Tal benachbarten Inseln, Teile der West-Wüste, einen kleinen Teil von Sinai und die Ost-Wüste. Dieses System stellt das erste in Ägypten verwendete Koordinatensystem dar. Der Koordinatenursprung für dieses System war der Gitterschnittpunkt des 31° Meridian mit dem 30° Breitenkreis. Dieser Punkt liegt im Westen Kairos am Berg Saded Alkamsin, 12 km westlich der großen Pyramiden.<sup>148</sup> Um negative Koordinatenwerte zu verhindern wurde der Koordinatenursprung in den Südwesten von Ägypten verlegt, so dass alle Orte vom Norden des Mittelmeers bis zu den südlichen Grenzen Ägyptens im ersten Quadranten liegen.<sup>149</sup> Dieser Punkt liegt in der Nähe der südwestlichen Grenze Ägyptens, in der Nähe des Bergs Aninat. Somit liegt der Koordinatenursprung 810 km südlich und 615 km westlich des Gitterschnittpunktes 30° nördlicher Breite mit 31° östlicher Länge. Die Gitterlinien des Koordinatennetzes sind in roter Farbe dargestellt.
- **Zone 27° Ost (Violettes System):**  
Dieses System beinhaltet das ausgedehnte Gebiet zwischen den Längengraden 25° und 29° Ost. Der Koordinatenursprung liegt hier bei dem Gitternetzsnittpunkt 27° östliche Länge und 30° nördliche Breite. Der Koordinatenursprung wurde 200 km südlich und 700 km westlich verlegt, so dass dieser auf libyschem Territorium liegt. Die Gitterlinien des Koordinatennetzes sind in violetter Farbe dargestellt.
- **Zone 35° Ost (Grünes System):**  
Dieses System umfasst das ausgedehnte Gebiet zwischen den Längengraden 33° und 37° Ost. Die restlichen Gebiete der Ostwüste, Sinai und die östlichen Nachbarländer zu Ägypten fallen in diese Zone. Der Ursprung dieses Systems wurde von 35° Ost und 30° Nord um eine Strecke von 1100 km südlich und 300 km westlich verlegt. Die Linien des Koordinatennetzes sind mit grüner Farbe dargestellt.

### 3. Kartenbezeichnungen und Blattschnitt

1908 beschloss die internationale geographische Konferenz in Genf, die gesamte Erdoberfläche auf Karten im Maßstab 1:1.000.000 abbilden zu lassen. Jedes Blatt dieser Internationalen Weltkarte (IWK) erstreckt sich über sechs Längen- und vier Breitengrade. Ägypten ist auf sieben Blättern der IWK abgebildet. Es handelt sich um die Blätter NH35, NF30, NH39, NG35, NG36, NF35 und NH36.<sup>150</sup>

Der Blattschnitt der ägyptischen topografischen Karten lehnt sich folgendermaßen an den damals für die IWK vereinbarten Blattschnitt an: Aus einem Blatt der IWK wurden 16 ägyptische Karten 1:250.000 abgeleitet. Die Karten erhielten die Bezeichnung des Blattes der IWK, aus der sie abgeleitet wurden, und zusätzlich einen Buchstaben von A-P, z.B. NH 36 - M. Aus jeder Karte 1:250.000 wurden 6 Karten 1:100.000 abgeleitet, die zusätzlich zu der Bezeichnung der Karte 1:250.000 eine Zahl von 1-6 erhielten, wie z.B. NH30 – M2. Aus den Karten 1:100.000 wurden wiederum vier Karten 1:50.000 abgeleitet. Die Bezeichnung dieser Karten

<sup>148</sup> IBRAHIM, 1987, 52

<sup>149</sup> IBRAHIM, 1987, 52

<sup>150</sup> ESA, 1986, unveröffentlichte Daten.

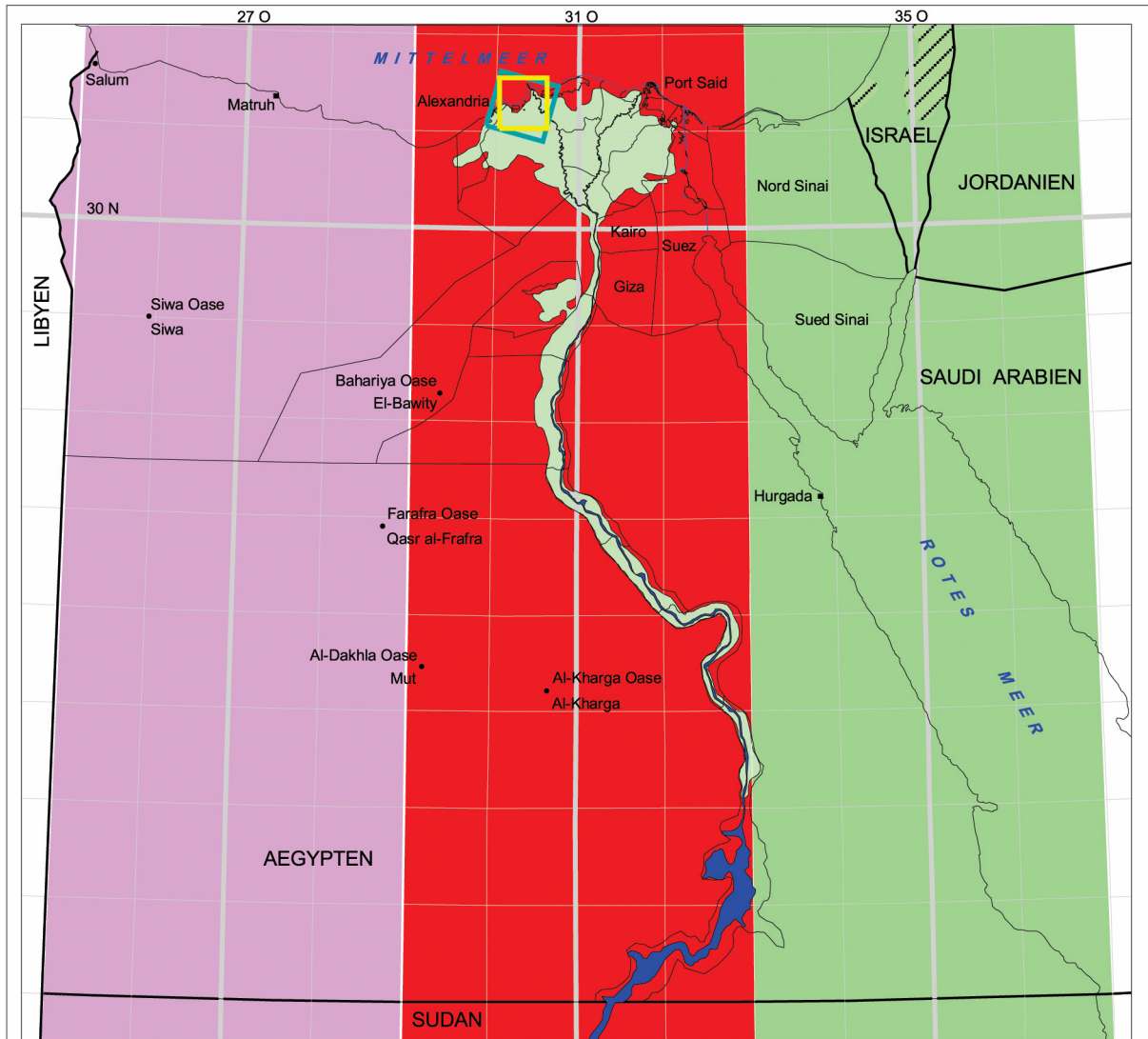


Abb.9 Aegyptisches Koordinatensystem und Untersuchungsgebiet

Aegyptisches Koordinatensystem :

- Zone 27 Ost
- Zone 31 Ost
- Zone 35 Ost
- Kulturland in Aegypten

- Untersuchungsgebiet, abgedeckt von Satellitenbildern
- Untersuchungsgebiet, abgedeckt von topographischen Karten
- Gouvernoratsgrenze
- Staatsgrenze

ca. 1 : 8 000 000  
 ca. 90 0 90 180 Kilometer

Kartenquelle :  
 -ESA, Karte von Aegypten, 1 : 2 Mio, Nr. : 360/66,1986.

Entwurf und Kartographie: A. Elwan

orientiert sich an den der Karten 1:100.000, wobei sie zusätzlich einen Buchstaben a-d erhalten, wie z.B. NH30 – M2a. Analog zu diesem System wurden auch die übrigen Kartenwerke Ägyptens bezeichnet.

### 5. Kartenrandangaben

Die ägyptischen topografischen Landkarten beinhalten wichtige Informationen an 3 Kartenrändern, der obere, der untere und der rechte Kartenrand. Es gibt keine Legende am rechten Rand für Landkarten 1:25.000, aber es existieren Informationen am oberen und unteren Rand. Direkt am Kartenfeld befinden sich Informationen über Anschlussblätter und wichtige Verkehrsknotenpunkte auf Anschlussblättern.

- Der oberer Kartenrand:  
Er zeigt die Überschrift der topografischen Karte in einer großen und deutlichen Schrift. Die Überschrift ergibt sich immer aus dem wichtigsten in der Karte enthaltenen topografischen Element. Im oberen Rand steht darüber hinaus der numerische Maßstab und die Kartenindexnummer.
- Der rechte Kartenrand:  
An diesem Rand wird normalerweise der Grad der magnetischen Missweisung und deren jährliche Änderung erwähnt. Außerdem sind vorhandene Farbflächensignaturen definiert. Hinzu kommen noch Angaben über die benutzte Projektion, den Mittelmeridian und Kartenquellen.
- Der untere Kartenrand:  
In der Mitte dieses Kartenrandes steht der grafischer Maßstab sowie ein nummerierter Blattschnitt. Im Gegensatz zur ägyptisch-amerikanischen topografischen Karte 1:50.000 befinden sich die topografischen Legendenelemente am unteren Kartenrand.

## 3.1.2 Überführung der analogen Karten in eine digitale Kartenform

Um analoge Karten zu digitalisieren stehen verschiedene Methoden zu Verfügung. Man unterscheidet drei Hauptmethoden: die manuelle Digitalisierung, die Digitalisierung am Bildschirm und die automatische Digitalisierung.

### *Manuelle Digitalisierung*

Bei der manuellen Digitalisierung wird ein Digitalisieretablett benutzt, auf dem die topografische Karte eingepasst wird. Dazu wird zunächst die Karte fixiert. Nun ist es erforderlich die vier Eckkoordinaten der Karte mit Hilfe der Messmarke des Cursors als X bzw. Y Koordinaten in die entsprechende Digitalisierungssoftware (z.B. *AutoCad*) einzutragen. Hier ist darauf zu achten, dass der entstehende Fehler, in Abhängigkeit vom Maßstab, so klein wie möglich ist. Nachdem die Karte entsprechend vorbereitet wurde, kann nun mit der eigentlichen Digitalisierung begonnen werden. Diese kann sowohl im Punkt-, Linien- oder im Polygonmodus erfolgen. Der Punktmodus wird für Höhenpunkte, Ortssignaturen usw. verwendet, der Linienmodus kommt bei Straßen, Entwässerung, Grenzen, und ähnlichen linienhaften Elementen zur Anwendung. Den Polygonmodus gebraucht man, um beispielsweise Siedlungen, Gewässer, Gebietseinheiten, etc. zu digitalisieren.

Sehr wichtig ist die Nachbereitung der so entstandenen Digitalisierung mit Hilfe des CAD-Programms, indem entsprechend digitalisierte Punkte mit der Messmarke des Cursors mit den Koordinaten der Karte verglichen werden.

Möglich auftretende Fehler der Digitalisierung sind zum Beispiel Over- and Undershoot von Linien (Abb. 10), Toleranzfehler (Abb. 11), Splitterflächenentstehung (Abb. 12) und Randanpassung (Abb. 13). Diese Fehler müssen nachträglich beseitigt werden.

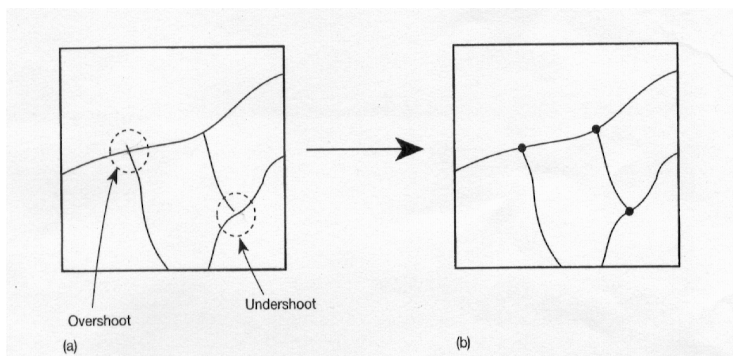


Abb. 10: Under- und Overshoots: Linienelemente treffen nicht aufeinander bzw. weisen eine Überlagerung mit anderen auf (a). Gewünschtes Zusammentreffen einzelner Linien in definierten Punkten (b). (nach JONES, 2000, 87)

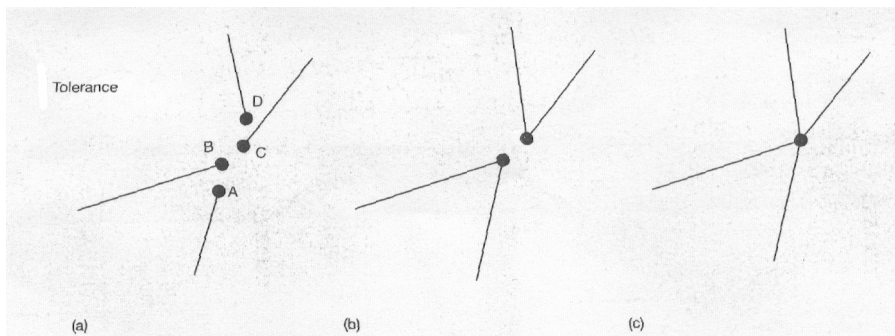


Abb. 11: Toleranz: Ein Bereich mit festgelegtem Radius beeinflusst das Zusammentreffen von Linienelementen. Ist dieser Bereich zu klein, erfolgt kein snapping (topologische Verbindung zweier Punkte) (a). (b) und (c) zeigen die Ergebnisse einer Verkleinerung des Toleranzbereiches. Hierbei fallen bestimmte Punkte nacheinander zusammen. (nach JONES, 2000, 88)

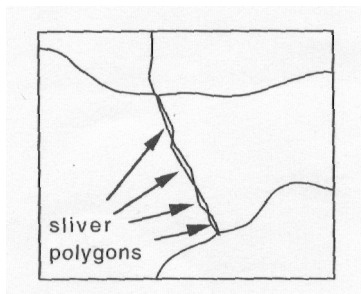


Abb. 12: Splitterflächen entstehen bei Überlagerung doppelt digitalisierter Objekte. Kleine Differenzen verursachen dabei die Entstehung von einzelnen Polygonen. (nach JONES, 2000, 88)

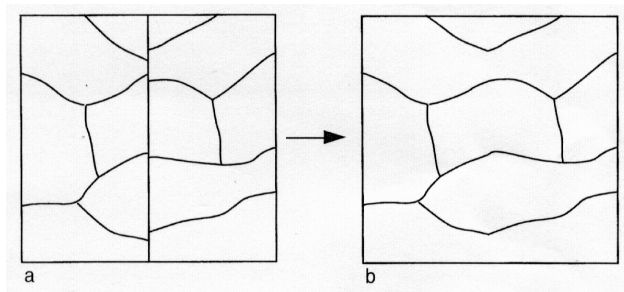


Abb. 13: Randerpassung. Bei Zusammenführung benachbarter Flächen erfolgt eine Angleichung der zueinander gehörigen Elemente, um ein bruchfreies Ergebnis zu gewährleisten. (nach JONES, 2000, 89)

## *Digitalisierung am Bildschirm*

Die Digitalisierung am Bildschirm ist ähnlich der manuellen Digitalisierung. Jedoch wird hierbei zunächst die entsprechende analoge Karte gescannt und liegt somit in einem Rasterdatenformat vor. Diese Karte wird in die Digitalisierungssoftware (z.B. *AutoCad*) eingeladen und kann dann am Bildschirm bearbeitet werden. Anschließend sind die somit entstandenen Vektordaten zu georeferenzieren, um sie weiterverarbeiten zu können. Die Digitalisierung am Bildschirm hat den Vorteil, dass zu digitalisierende Bereiche vergrößert werden können. Jedoch benötigt man bei großformatigen Karten auch großformatige Scanner, die nicht überall vorhanden sind.

## *Automatische Digitalisierung*

Die automatische Digitalisierung unterscheidet man in die halbautomatische und die vollautomatische Digitalisierung. Bei der halbautomatischen Digitalisierung wird zunächst die analoge Karte gescannt und in eine Raster-Vektorkonvertierungssoftware eingeladen. Mit dieser Software ist es möglich mit Hilfe entsprechender Attributierung Punkte, Linien und Flächen automatisiert zu digitalisieren. Je nach Qualität (Auflösung, Farbe, etc.) der Vorlage ist mehr oder weniger Nachbearbeitung notwendig.

Die vollautomatische Digitalisierung vereinfacht die halbautomatische Digitalisierung dahingehend, dass das Scannen und Vektorisierung in einem Prozess zusammenfasst. Dazu benötigt man jedoch einen Großformatrastertrommelscanner (Vgl. ROBINSON ET. AL, 1995, 92 ff.).

Weitere Informationen zur Theorie, Methodik und dem Prozess der Digitalisierung finden sich bei HEIDRINK (2000), S. 119ff.; OSTER (1996), S. 85ff.; GROS (1999), S. 45ff. und HEINZ (1999), S. 193ff.

## *Praktische Realisierung*

Erster Arbeitsschritt war die Auswahl der zu digitalisierenden Elemente. Daraufhin wurden in *AutoCad14* Ebenen für diese Elemente angelegt. Dabei wurden den Ebenen die Eigenschaften Punkt, Linie bzw. Polygon zugeordnet. Die Digitalisierung erfolgte auf Basis einer manuellen Digitalisierung (siehe oben) mit Hilfe eines A0-Digitalisieretablets und *AutoCad14*. Nacheinander wurden 36 Karten im Maßstab 1:25.000 und 6 Karten im Maßstab 1:50.000 digitalisiert. In *AutoCad* wurden die Karten zu zwei Dateien (DWG-Format) im Maßstab 1:25.000 bzw. 1:50.000 zusammengefasst. Anschließend folgte zur weiteren Verarbeitung der Export aus *AutoCad* als DXF-Datei. Diese Datei wurde dann in *Arc/INFO* eingeladen um automatisiert Fehler bereinigen zu können (siehe manuelle Digitalisierung).

Anschließend folgte die Georeferenzierung. Die Dateien erhielten die Transversale Mercator Projektion mit dem Helmert Ellipsoiden 1907. Somit sind in dieser Projektion sowohl die Satellitenbilddaten, als auch die topografische Karte vorhanden. Dies ermöglicht ein genaues Einpassen aufeinander.

## 3.2 Erfassung von Fernerkundungsdaten

### 3.2.1 Entwicklung von satellitenbasierten Systemen<sup>151</sup>

#### Das Landsat-Satellitenprogramm

Mit den Erfahrungen, die amerikanische Astronauten bei der Beobachtung der Erdoberfläche aus der Umlaufbahn seit Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts machten, entstand die Idee ein spezielles Instrument für diese Aufgabe ins All zu befördern. Aus diesem Bedarf initiierten die amerikanische Raumfahrtbehörde NASA, das Ministerium für Landwirtschaft und das US-Innenministerium eine Studie zur Realisierung. Im Jahr 1967 wurde daraus das *Earth Resources Technology Satellites (ERTS)* Programm. Vorgesehen waren sechs Satelliten ERTS-A bis -F aus denen nach dem Start ERTS-1 bis -6 werden sollten. Am 23. Juli 1972 wurde ERTS-1 in den Orbit gestartet. Die Sensorplattform entsprach einem Nimbus Wettersatelliten auf der zwei eigens zur Erdbeobachtung entwickelte Sensorsysteme sowie die dazu notwendige Peripherie montiert war.<sup>152</sup>

Um den Instrumenten einen optimalen Blick auf den größten Teil der Erdoberfläche zu ermöglichen, wurde eine fast polare Umlaufbahn mit einer Bahnneigung von  $99,9^\circ$  gewählt. Diese führte den Satelliten in 900 km Höhe über Grund in 103 Minuten einmal um die Erde. Derselbe Punkt über der Erdoberfläche wird erst nach 18 Tagen wieder erreicht. Die einzige Ausnahme bilden die Polargebiete (nördlich bzw. südlich des 82. Breitengrades), hier wird keine Abdeckung erzielt, der Satellit kann diese Gegenden aufgrund der Umlaufbahn nicht erkunden. Um die Vergleichbarkeit der Szenen zu erhalten, ist die Umlaufbahn sonnensynchron, d. h. der Äquator wird bei jeder Umrundung stets zur selben lokalen Sonnenzeit von Nord nach Süd überflogen. Das sog. *Sensor Package* bestand bei ERTS-1, der kurz vor Beendigung seiner Mission mit dem gesamten Programm in *Landsat 1* umbenannt wurde, aus zwei Instrumenten (siehe auch Tab. 10). Zum einen der *Return Beam Vidicon (RBV)*, einer Anordnung von Kameras die Einzelbilder lieferten und nach dem Prinzip einer Fernsehkamera funktionierten. Dieses System lieferte aber nur relativ wenige Daten, da schon nach wenigen Monaten Betriebsdauer ein technischer Defekt auftrat und das System abgeschaltet werden musste.

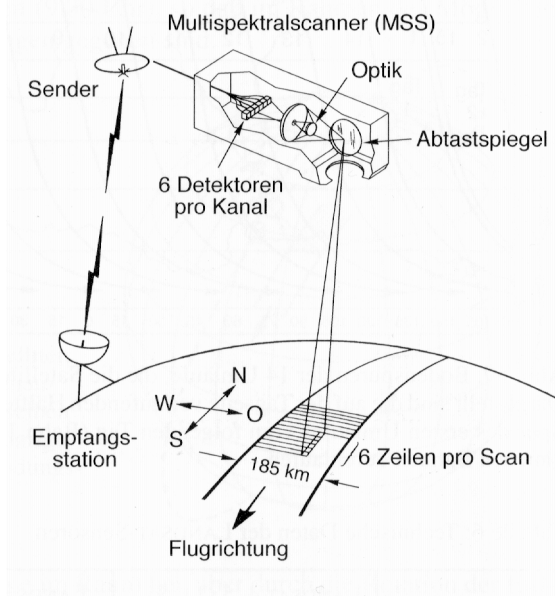


Abb. 14: Aufnahmeprozess des LANDSAT-MSS-Systems (nach ALBERTZ, 2001, 50)

<sup>151</sup> nach ALBERTZ, 2001; LILLESAND & KIEFER, 2000, SCHOTT, 1997; DE LANGE, 2002 und McCUISTION, 2002

<sup>152</sup> LILLESAND & KIEFER, 200, 376f.



Das zweite Sensorsystem, der *Multispectral Scanner (MSS)* (Abb. 14), bildete die selben  $185 * 185$  km<sup>2</sup> ab wie die RBV, hatte jedoch ein vollständig anderes Funktionsprinzip. Bei MSS handelte es sich um einen optomechanischen Scanner. Bei dieser Anordnung wird die einfallende Strahlung von einem oszillierenden Spiegel auf die abbildende Optik und auf die Sensoren gelenkt. Dieser oszillierende Spiegel bewegt sich dabei in einer Weise, dass die Erdoberfläche zeilenweise quer zur Flugrichtung des Satelliten abgetastet wird. Um die Frequenz der Oszillation niedrig zu halten befinden sich pro Spektralkanal mehrere Sensoren übereinander in der Fokalebene, d. h. es werden bei einer Abtastung gleichzeitig mehrere Zeilen aufgenommen. Dies wurde durch die hohe Geschwindigkeit des Satelliten von 6,46 km/s über Grund notwendig um eine möglichst hohe geometrische Auflösung von 79m pro Bildpunkt zu erhalten. Insgesamt tastete der MSS an Bord von Landsat 1 die Erdoberfläche in vier Spektralkanälen ab.

Der im Januar 1975 gestartete Landsat 2 entsprach in seiner Konfiguration und seinen Bahnparametern Landsat 1. Erst bei Landsat 3 wurde eine leichte Modifizierung der Instrumente vorgenommen. So wurden bei der RBV die drei Spektralkanäle durch zwei panchromatisch abbildende Kameras (0,505 – 0,75 µm) höherer Brennweite und dadurch einer geometrischen Auflösung von 30 m ersetzt. Insgesamt vier Szenen bildeten dabei die Fläche einer MSS Szene ab. Bei MSS wurden alle Systemparameter beibehalten, es wurde nur ein zusätzlicher Spektralkanal im thermalen Infrarot (10,4 – 12,6 µm) integriert. Aus dessen Daten lassen sich die Temperaturen der mit 240 m geometrischer Auflösung abgebildeten Erdoberfläche ableiten. Dieser Kanal fiel jedoch nach dem Start aufgrund technischer Probleme aus. Nach dieser ersten Generation wurde 1982 mit Landsat 4 der erste Satellit einer neuen Generation gestartet. Hier wurden die Bahnparameter leicht verändert. Die Flughöhe wurde auf 705 km abgesenkt, dies führte zu einer Wiederholrate von 16 Tagen. Auf einer neuen Trägerplattform befanden sich wiederum zwei Sensorsysteme. Der schon bei Landsat 1 bis 3 bewährte MSS wurde beibehalten. Die RBV wurde jedoch durch einen zweiten optomechanischen Scanner ersetzt. Der *Thematic Mapper (TM)* stellt eine Weiterentwicklung des MSS dar. Die geometrische Auflösung wurde auf 30 m erhöht. Auch die radiometrische Auflösung konnte von 6 bit (64 Intensitätswerte) bei MSS auf 8 bit (256 Intensitätswerte) bei TM angehoben werden (de Lange 2002). Dies stellt einen bedeutenden Fortschritt für die Möglichkeiten zur digitalen Klassifikation dar. Des Weiteren wurde auch die spektrale Auflösung erhöht: insgesamt 7 Kanäle bilden das sichtbare Licht, das nahe und mittlere Infrarot sowie das thermale Infrarot ab. Einen Überblick über die Kanäle des TM mit möglichen Anwendungsgebieten gibt Tab. 9.

Tab. 9: *TM Spektralkanäle (aus LILLESAND/KIEFER, 2000, 396)*

Band	Wellenlänge in µm	Bezeichnung	Anwendungen
1	0,45 – 0,52	Blau	Untersuchung von Küstenbereichen und flachen Gewässern
2	0,52 – 0,60	Grün	Misst das Reflektionsmaximum im Sichtbaren Licht und dient somit zur Unterscheidung von Vegetation
3	0,63 – 0,69	Rot	Bildet den Bereich der Chlorophyllabsorption ab und dient ebenso zur Vegetationsuntersuchung
4	0,76 – 0,90	Nahes IR	Zur Vitalitätsuntersuchung von Vegetation und deren Klassifikation
5	1,55 – 1,75	Mittleres IR	Messung der Bodenfeuchtigkeit und zur Unterscheidung von Wolken und Schnee
6	10,4 – 12,5	Thermales IR	Zur Erfassung des Vegetationszustandes, der Bodenfeuchtigkeit und der Temperaturmessung
7	2,08 – 2,35	Mittleres IR	Untersuchung und Unterscheidung von Mineralen und Gesteinen

Landsat 5 wurde schließlich in exakt derselben Konfiguration 1984 in den Orbit geschossen und liefert bis heute Daten.

Mit Landsat 6 wurde dann die dritte Generation des Landsat-Programms eingeführt. Dieser Satellit trug keinen MSS mehr, nur eine verbesserte Variante des TM, den sogenannten *Enhanced Thematic Mapper (ETM)*. Zusätzlich zu den sieben Kanälen des TM wurde ein hochauflösender panchromatischer Kanal (0,5–0,9 µm) mit 15m Bodenauflösung integriert. Ausserdem wurde die radiometrische Auflösung auf 9bit verbessert. Die Mission wurde zum Fehlschlag, da Landsat 6 nie die geplante Umlaufbahn erreichte. Nach einer längeren Pause wurde im April 1999 dann Landsat 7 gestartet. Er entspricht von der Konfiguration Landsat 6 ausser einer nochmals verbesserten geometrischen Auflösung des Kanal 6 im thermalen IR. Dieses Instrument nennt sich *Enhanced Thematic Mapper + (ETM+)* und liefert bis heute Daten.

Eine Mission zur Fortführung des Landsat Programms ist in Planung, die ersten Daten sind im Jahr 2006 zu erwarten.<sup>153</sup>

Tab. 10: Übersicht des Landsat Programms (nach LILLESAND/KIEFER 2000, 378)

Satellit	Start	Ausserbetriebnahme	RBV Kanäle	MSS Kanäle	TM Kanäle	Umlaufbahn
Landsat 1	23.08.1972	06.01.1978	1-3	4-7	-	18 d / 900 km
Landsat 2	22.01.1975	25.02.1982	1-3	4-7	-	18 d / 900 km
Landsat 3	05.03.1978	31.03.1983	A-D	4-8 <sup>a</sup>	-	18 d / 900 km
Landsat 4	16.07.1982	.. <sup>b</sup>	-	1-4	1-7	16 d / 705 km
Landsat 5	01.03.1984	-	-	1-4	1-7	16 d / 705 km
Landsat 6	05.10.1993	Fehlschlag	-	-	1-7 und Pan (ETM)	-
Landsat 7	15.04.1999	-	-	-	1-7 und Pan (ETM+)	16 d / 705 km

<sup>a</sup> Band 8 fiel kurz nach dem Start aus

<sup>b</sup> Übertragung der TM Daten versagte im August 1993

### Die Aufnahmesysteme SPOT

Mit dem Ziel, ein System kommerzieller Erdbeobachtungssatelliten bereitzustellen, begann die französische Regierung unter Mithilfe Belgiens und Schwedens 1978 das *Système Probatoire d'Observation de la Terre (SPOT)* zu entwickeln. Die zugrundeliegende Technik entspricht der eines sog. Pushbroom-Scanners. Bei diesem Prinzip werden gleichzeitig ganze Linien mittels linear angeordneten Feldern von Detektoren (CCDs = Charge-Coupled Devices) aufgenommen. Die Breite des aufzunehmenden Gebietes ist daher ausschlaggebend für die Länge des Sensorenfeldes. Die Fehleranfälligkeit dieser Sensoren wird durch das Fehlen beweglicher Teile minimiert.

Das SPOT-Satellitenprogramm besteht aus derzeit 4 gestarteten Satelliten, die durch die Zahlen 1 bis 4 bezeichnet werden (Technische Angaben zu den Satelliten in Tab. 11).

Tab. 11: Übersicht des SPOT-Satellitenprogramms

	SPOT-1	SPOT-2	SPOT-3	SPOT-4
Start	21.2.1986	21.1.1990	25.9.1993	23.3.1998
Flughöhe			832 km	
Wiederholdauer			26 d <sup>a)</sup>	
Streifenbreite			60 km <sup>a)</sup>	
Sensoren		2 HRV		HRVIR, Vegetation Instrument

<sup>a)</sup> Nadir-Aufnahmen

Aufgrund ihrer Ähnlichkeit werden die SPOT-Satelliten 1 bis 3 zumeist gemeinsam behandelt. Die Flugbahn ist, ähnlich den Landsats, kreisförmig, sonnensynchron und fast polar. Bei der oben angegebenen Wiederholdauer, also der Flugdauer des Satelliten bis ein Gebiet exakt wieder aufgenommen wird, bezieht sich auf Nadir-, also Senkrechtaufnahmen. Die SPOT-Satelliten sind jedoch erstmals in der Lage, durch Schwenken der Sensoren (bis 27° quer zur Flugrichtung) das gleiche Gebiet nach kürzerer Zeit erneut aufzunehmen (Abb. 15). Wolkenbedeckung oder die Notwendigkeit ein Gebiet in kürzerer Zeit mehrmals zu erfassen sind mögliche Gründe für die sog. Off-Nadir-Aufnahmen.

Alle drei Satelliten sind mit der gleichen Konstellation von Sensoren ausgestattet. Jeweils zwei baugleiche High Resolution Visible (HRV) Sensoren sind in der Lage, entweder panchromatische (P-Modus) oder multispektrale Daten (XS-Modus) zu erfassen. Das panchromatische Spektrum deckt in diesem Falle den Bereich 0,51 – 0,73 µm mit einer Auflösung von 10 m, der multispektrale Modus die Wellenlängen 0,5 – 0,59 µm (grün), 0,61 – 0,68 µm (rot) und 0,79 – 0,89 µm (nahes Infrarot) bei einer Auflösung von 20 m ab.

<sup>153</sup> McCuiston, 2002, <http://ldcm.gsfc.nasa.gov>

Die HRVs bestehen aus einer Anordnung aus vier CCD-Reihen, die ein Sichtfeld von  $4,13^\circ$  im Senkrechtlblick abdecken. Die doppelte Anzahl an CCD-Sensoren beim panchromatischen Kanal (d. h. 6000) führt zur bereits erwähnten Pixelauflösung von 10 m im Gegensatz zur 20-m-Auflösung der multispektral erfassenden CCD-Reihen. Die Informationen in allen vier Kanälen wird in 8-bit-Form, d.h. in 256 Abstufungen gespeichert.

Mit einer 3-km-Überlappung kann eine Streifenbreite von 117 km erzielt werden, indem beide Instrumente nebeneinander liegende Gebiete erfasst.

Eine weitere Neuerung bei der Entwicklung der SPOT-Reihe ist die Möglichkeit der Bereitstellung stereographischen Bildpaare. Während des 26-Tage-Zyklus des Satelliten ist es je nach geographischer Breite zwei bis elf mal möglich, durch Schwenken der Sensoren ein Bildpaar für die stereographische Auswertung zu gewinnen.

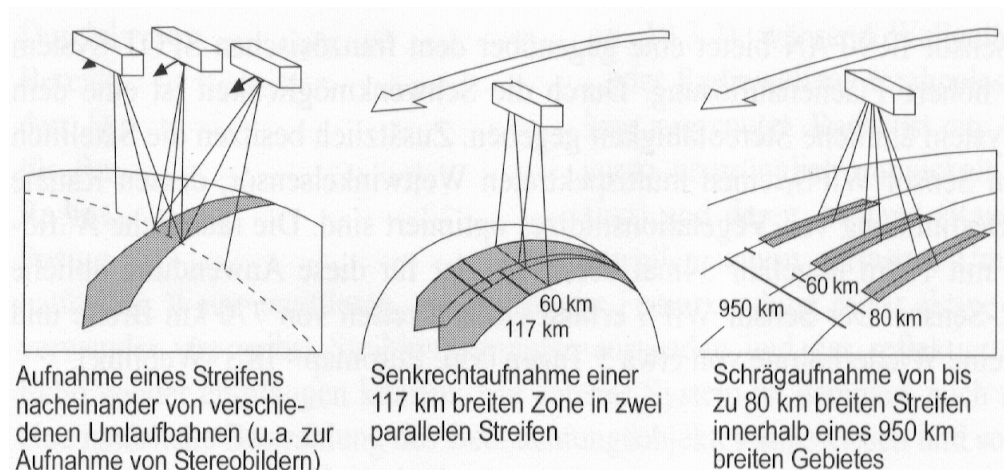


Abb. 15: Sensorsysteme von SPOT (nach DE LANGE, 2002, 377)

Die Satelliten (ca. 1750 kg schwer, 2 x 2 x 3,5 m groß, Gesamtlänge der Sonnensegel ca. 16 m) senden die empfangenen Daten direkt, wenn sie weniger als 2600 km von einer Bodenstation entfernt sind. Andernfalls werden die Informationen auf Magnetband zwischengespeichert und bei Annäherung an eine Station gesendet.

Der Start des SPOT-4-Satelliten im Jahre 1998 diente zur Erweiterung der Fähigkeiten des Systems. Die HRV-Sensoren wurden nun durch einen fünften Kanal ergänzt, der für den Bereich des mittleren Infrarot ( $1,58 - 1,75 \mu\text{m}$ ) sensibilisiert ist. Der Pan-Kanal der früheren Satelliten wurde durch den Rot-Kanal ausgetauscht, der jetzt sowohl 10-m-Pan-, sowie 20-m-Multispektral-Daten aufnehmen kann. Das gesamte Instrument wird als High Resolution Visible and Infrared (HRVIR) Sensor bezeichnet.

Mit vier spektralen Kanälen ist ein weiteres Instrument an Bord des SPOT-4 ausgestattet: das Vegetation Instrument. Der rote, nahe und mittlere Infrarotbereich wurde durch einen Blaukanal ( $0,43 - 0,47 \mu\text{m}$ ) erweitert, der besonders in ozeanographischen Anwendungen eine Rolle spielt. Mit einer Auflösung von etwa einem Kilometer bei Senkrechtaufnahmen und einer Streifenbreite von 2250 km dient dieses Instrument hauptsächlich als Ergänzung zum feinauflösenden HRVIR-Sensor bei Anwendungen in der Vegetationsauswertung.

### *IRS (Indian Remote Sensing Satellite)*

Nach dem die ersten Missionen erfolgreich 1979 bzw. 1981 verlaufen waren, begann Indien mit der Entwicklung des *Indian Remote Sensing Satellite* (IRS) Programms. Dieses war zur Unterstützung der nationalen Wirtschaft, u.a. in den Bereichen Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Ökologie konzipiert. In Deutschland ist für die den Empfang der Daten die Station des Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Neustrelitz zuständig.

Die ersten beiden IRS Satelliten, IRS-1A (März 1988) und IRS-1B (August 1991) wurden mit russischen Wostok-Trägerraketen aus Baikonur gestartet. IRS-1A stellte seinen Betrieb 1992 ein. IRS-1B ist nach nunmehr über zehn Jahren immer noch betriebsbereit, wird jedoch lediglich für Experimente genutzt, solange der Treibstoff noch reicht.

Die IRS-1A/B Satelliten hatten ein Startgewicht von 975 kg mit einer Lebensdauer von 2,5-3 Jahren. Der in drei Achsen stabilisierte Satellit ist rechtwinklig aufgebaut (Kantenlängen von 1,1m x 1,5m x 1,6m) und hat zwei schmale Sonnensegel, die weniger als 1kW elektrische Energie produzieren. Die Bodenstation in Shadnagar ist für den Datenempfang verantwortlich.

1995 startete eine Molniya-Rakete von Baikonur mit dem IRS-1C an Bord, der seitdem in einer Höhe von 817 km um die Erde kreist. IRS-1D folgte am 29. September 1997 mit gleicher Flughöhe. Die Satelliten IRS-1C/D sind beide baugleich und unterscheiden sich auch nicht in ihren Sensoren.

Beide sind mit drei Sensoreinheiten ausgestattet. Niedrigauflösend, der WiFS (Wide Field Sensor) mit einer Auflösung von 188 m und einer Streifenbreite von 804 km. Als Multispektralscanner ist der LISS (Linear Imaging Self-Scanning Sensor)-III Sensor mit an Bord, mit einer Auflösung von 23,5 m im Sichtbaren (0,52-0,59  $\mu\text{m}$ ; 0,62-0,68  $\mu\text{m}$ ) und nahen Infrarot (0,77-0,86  $\mu\text{m}$ ) sowie von 70 m im mittleren Infrarot (1,55-1,70  $\mu\text{m}$ ). Die Streifenbreite beträgt hierbei 142 km. Für höhere Auflösungen ist der panchromatische Sensor zuständig. Er stellt diese mit einer Pixelgröße von 5,8 m (0,5-0,75  $\mu\text{m}$ ) bereit. Diese Genauigkeit war bis 1998 in der zivilen Fernerkundung unerreicht. Die Wiederholrate von IRS-1C/D beträgt 24 Tage, wobei der panchromatische Sensor geneigte Aufnahmen bis max. 26° realisieren kann und sich somit die Wiederholrate auf fünf Tage verkürzt.

Daten der beiden Satelliten können von der EOSAT (USA), der NRSA (Hyderabad, Indien) oder vom DLR (Neustrelitz, Deutschland) bezogen werden.

In dieser Arbeit wurden folgende Bilddaten verwendet:

- Landsat 5 TM von 1986 zur Korrektur der topografischen Karte 1:25.000.
- SPOT, panchromatischer Kanal für Vergleich und Korrektur der topografischen Karte 1:50.000 ebenfalls von 1992
- Bilddaten des IRS-1D Satelliten von 1998 wurden verwendet, um die Daten der topografischen Karte zu vervollständigen und eine Siedlungsentwicklungskarte abzuleiten.

### 3.2.2 Digitale Verarbeitung der Satellitenbilddaten

#### Georeferenzieren der Fernerkundungsdaten

Um ein Satellitenbild sinnvoll auswerten bzw. weiterverarbeiten zu können, ist es erforderlich das Satellitenbild geometrisch zu korrigieren. Dies entfernt die Verzerrungen, die während der Aufnahme entstanden sind und passt das Satellitenbild auf ein bestimmtes geodätisches Referenzsystem ein. Es gibt mehrere Verfahren zur geometrischen Korrektur eines Satellitenbildes (Abb. 16). Für die hier beschriebene Aufgabenstellung war es ausreichend, eine *relative Entzerrung* durchzuführen. Das bedeutet, die Geometrie des Satellitenbildes wird an ein anderes bereits bestehendes Bild mit bekannter Geometrie angepasst, also wird die Punktmatrix des zu transformierenden Bildes anhand des bestehenden Bildes neu geordnet.

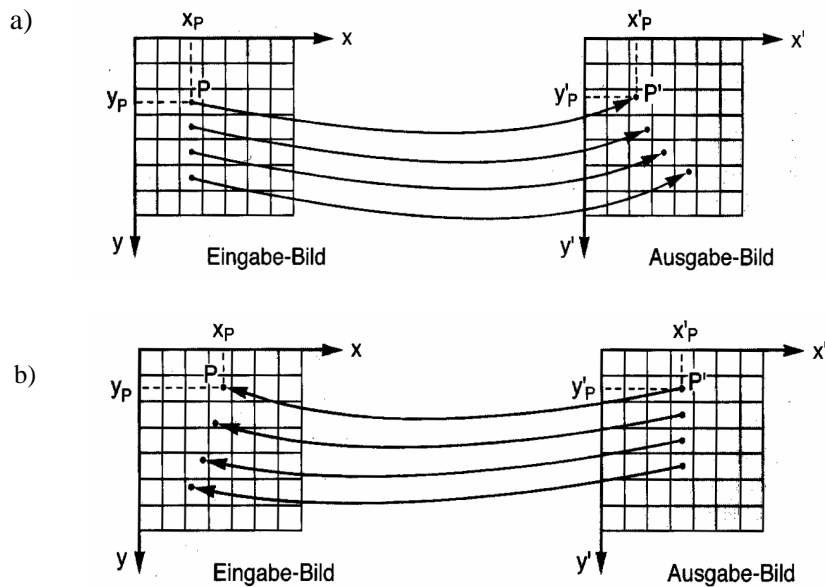


Abb. 16: (a) Direkte geometrische Entzerrung: Ausgabe-Bild entsteht durch Neuordnen der Pixel des Eingabe-Bildes. (b) Indirekte geometrische Entzerrung: Grauwerte des Ausgabe-Bildes werden auf Pixel des Eingabe-Bildes übertragen. (nach ALBERTZ, 2001, 103)

Die hierfür erforderliche Transformationsgleichung wird mit Hilfe des Interpolationsverfahrens gewonnen. Hierbei werden die unbekanntenen Koordinaten eines Pixels unter Berücksichtigung benachbarter, zuvor bestimmter Passpunkte berechnet. Diese Koordinaten entsprechen in der Regel nicht denen der Ausgangspixel. Somit ist es erforderlich, eine Neuberechnung der Grauwerte vorzunehmen (Resampling; Abb. 17). Hierbei gibt es drei gängige Verfahren: Nearest Neighbour, bilineare und bikubische Interpolation. Die Verfahren unterscheiden sich durch die Anzahl der Pixel, die zur Berechnung des Grauwertes einbezogen werden. So nimmt Nearest Neighbour lediglich den Grauwert des Pixels, welches der Koordinate am nächsten liegt. Die bilineare Interpolation nutzt die vier direkt benachbarten Pixel zur Errechnung des Grauwertes, wohingegen das Verfahren der bikubischen Interpolation eine  $4 \times 4$ -Matrix der umliegenden Pixel in die Berechnung mit einbezieht. Somit liefert die bikubische Interpolation die besten Ergebnisse, benötigt jedoch auch den erheblich größeren Rechenaufwand.

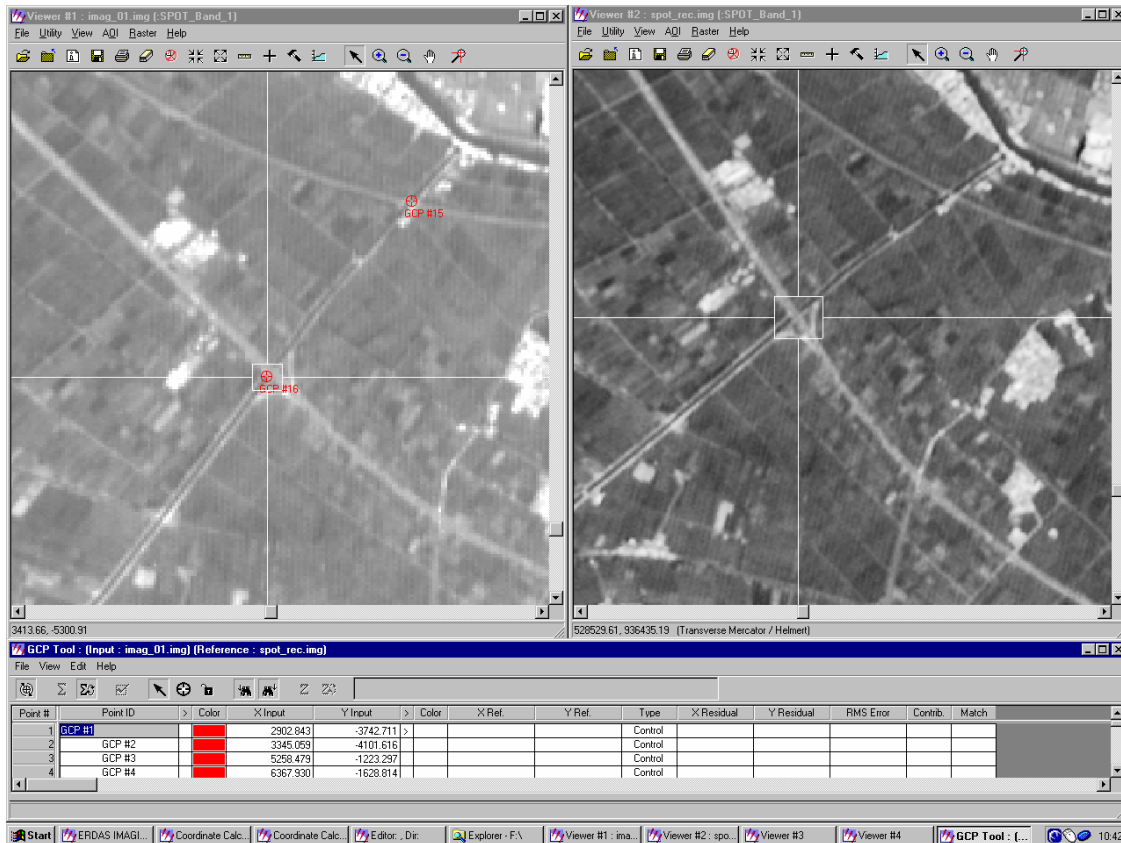


Abb. 17: Resampling der IRS-Szene in ERDAS Imagine: Links vor und rechts nach dem Entzerrungsprozess und einer Helligkeitsanpassung.

## Digitale Klassifizierung

Bei einer Klassifizierung werden auf Grundlage eines Luft- oder Satellitenbildes Klassen gleicher oder ähnlicher Eigenschaften gebildet. Dies erfolgt aufgrund unterschiedlicher Reflexionseigenschaften der Objekte. So können z.B. Wald oder landwirtschaftliche Nutzflächen voneinander differenziert werden. Bildpixel werden somit aufgrund ihrer spektralen Eigenschaften Objektklassen zugeordnet.

Man unterscheidet im Allgemeinen zwei Verfahren: die unüberwachte (unsupervised) und die überwachte (supervised) Klassifizierung.

Bei der unüberwachten Klassifizierung werden automatisch Klassen gebildet, in die Pixel spektraler Ähnlichkeit eingeordnet werden. Grundlage dieser Klassenbildung sind Punktwolken, die sog. Cluster. Diese Methode ist recht einfach und ohne großen Aufwand durchzuführen, jedoch ist hierbei die Möglichkeit eines Eingriffs des Bearbeiters nicht möglich. Die erstellten Objektklassen werden im Nachhinein interpretiert. Anwendungsmöglichkeiten sind gegeben, wenn das Wissen über das Bearbeitungsgebiet fehlt oder ein erster Eindruck vor einer überwachten Klassifizierung gegeben werden soll.

Die überwachte Klassifizierung arbeitet in entgegengesetzter Weise: Informationen über das zu bearbeitende Gebiet sind (meist durch Feldaufenthalt) vorhanden, im Untersuchungsgebiet wurden sog. Trainingsgebiete aufgenommen, d.h. koordinatenmäßig bekannte Areale sind erfasst worden. Diese Gebiete werden auf dem Satellitenbild gekennzeichnet (meist durch ein Polygon), dabei sind meist mehrere Trainingsgebiete einer Objektklasse sinnvoll. Bei der eigentlichen Klassifizierung werden nun die Pixel mit den jeweiligen Gebieten verglichen und entsprechend zugeordnet. Dabei unterscheiden die Programme diverse Techniken. Im Folgenden sollen die wichtigen Methoden kurz erläutert werden<sup>154</sup>.

<sup>154</sup> nach BAUER, 1994, 46ff.

### Maximum-Likelihood-Klassifikation

Die Maximum-Likelihood-Klassifikation basiert auf der Berechnung von statistischen Werten der Testgebiete (u.a. Minimum, Mittelwert). Die Methode ist die genaueste und, je nach Anzahl der Trainingsgebiete, auch die rechenaufwendigste. (Abb. 18a)

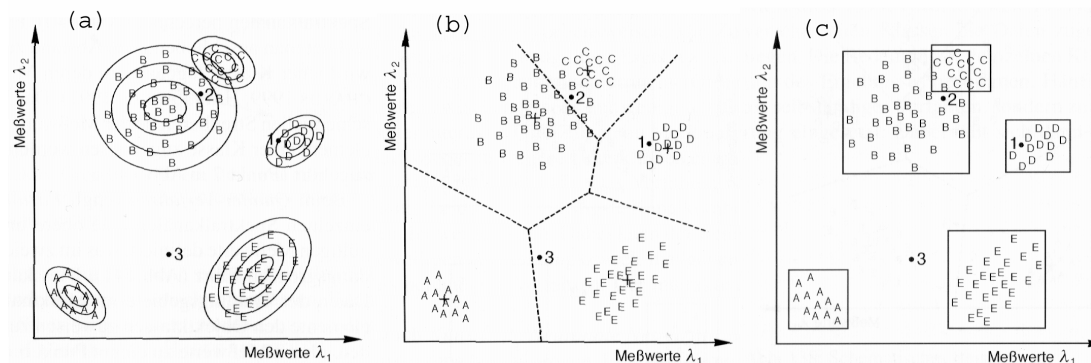


Abb. 18: Klassifizierungsverfahren. a) Maximum Likelihood, b) Minimum Distance, c) Quaderverfahren (nach ALBERTZ, 2001, 165ff.)

### Minimum-Distance-Klassifikation

Bei diesem Verfahren werden die Abstände eines jeden Pixels zum Mittelpunkt der unterschiedlichen Punktwolken (Cluster) berechnet und der mit der geringsten Distanz (meist euklidische) zugeordnet. Diese Methode ordnet jedes Pixel eindeutig einer Klasse zu, eine Mehrfachzuordnung ist also nicht möglich. (Abb. 18b)

### Parallelepiped-Klassifikation (Hyperbox- oder Quaderverfahren)

Diese Methode basiert auf dem Algorithmus, bei dem die Pixel mit jedem Spektralbereich verglichen werden. Fällt das Pixel jedes Mal in diesen Bereich (d.h. liegt es zwischen Minimum und Maximum), wird es der entsprechenden Klasse zugeordnet. Als Minimum und Maximum gelten diejenigen der Pixelwerte der Testgebiete. Die Ergebnisse sind oftmals wenig zufriedenstellend, da uneindeutige Ergebnisse auftreten. Jedoch steht dem die Einfachheit der Berechnung und dementsprechend die positive Zeitbilanz gegenüber. (Abb. 18c)

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Landsat-TM-Szene von 1986 zuerst unüberwacht und anschließend einer überwachten Klassifizierung unterzogen. Die unüberwachte (unsupervised) Methode erbrachte nur teilweise zufriedenstellende Ergebnisse, konnte jedoch als grobe Orientierung einen ersten Überblick geben. Eine Verbesserung der Klassifizierung erfolgte mittels der überwachten Methode. Hierbei sind Trainingsgebiete, also im Feld erfasste Beispielgebiete, zur weiteren Differenzierung eingesetzt worden. Das nach der Maximum-Likelihood-Methode berechnete Bild zeigte einige Schwächen bei bestimmten Landnutzungsarten. Beispielsweise wurden Dünengebiete und Straßen (wegen ihrer spektralen Ähnlichkeit), besonders im nordöstlichen Bildausschnitt einer bestimmten Klasse von Siedlungen zugeordnet. Bei Gewässern und landwirtschaftlicher Nutzung gab es zufriedenstellende Ergebnisse.

Eine weitergehende Verbesserung durch Hinzunahme weiterer Trainingsgebiete und Anwendung von Filtern brachte Verbesserungen in der Klassifizierung. Jedoch konnten gewisse Restfehler, die besonders im nordwestlichen Nildelta, hierbei besonders die Ödlandflächen, nicht beseitigt werden. Im Gebiet der Siedlungen liegt die Genauigkeit bei ca. 85%, andere Flächen, z.B. Kulturland, erreichen eine noch höhere Übereinstimmung mit den örtlich gegebenen Verhältnissen.

## Aufbereitung der Fernerkundungsdaten

Die einzelnen Satellitenbildszenen liegen in digitaler Form vor. Je nach Satellit unterscheidet man hierbei verschiedene Bänder, die miteinander kombiniert eine Gesamtszene ergeben.

Jedem Pixel innerhalb eines Bandes wird hierbei ein Zahlenwert, der einem Grauwert entspricht, zugeordnet. In der Regel liegt dieser zwischen 0 und 255. Um die Häufigkeit bzw. die Verteilung dieser Pixel zu visualisieren wird auf ein Histogramm zurückgegriffen. In einem solchen Histogramm wird auf der x-Achse der Grauwertbereich (0-255) und auf der Y-Achse die absolute Häufigkeit der entsprechenden Werte in diesem Band dargestellt.

In der Regel wird ein Satellitenbild ohne jegliche Bearbeitung als sehr kontrastarm und dunkel erscheinen. Um diesem Phänomen entgegenzuwirken, werden die vorhandenen Grauwerte auf den gesamten zur Verfügung stehenden Grauwertbereich aufgeteilt.

Mit Hilfe der sog. Breakpoints ist es möglich eine individuelle, themenbezogene Kontrastanpassung durchzuführen. Dabei werden einzelne Bereiche im Kontrast verstärkt, während andere abgeschwächt werden. In Abb.19 wird die Kontrastverbesserung verdeutlicht.

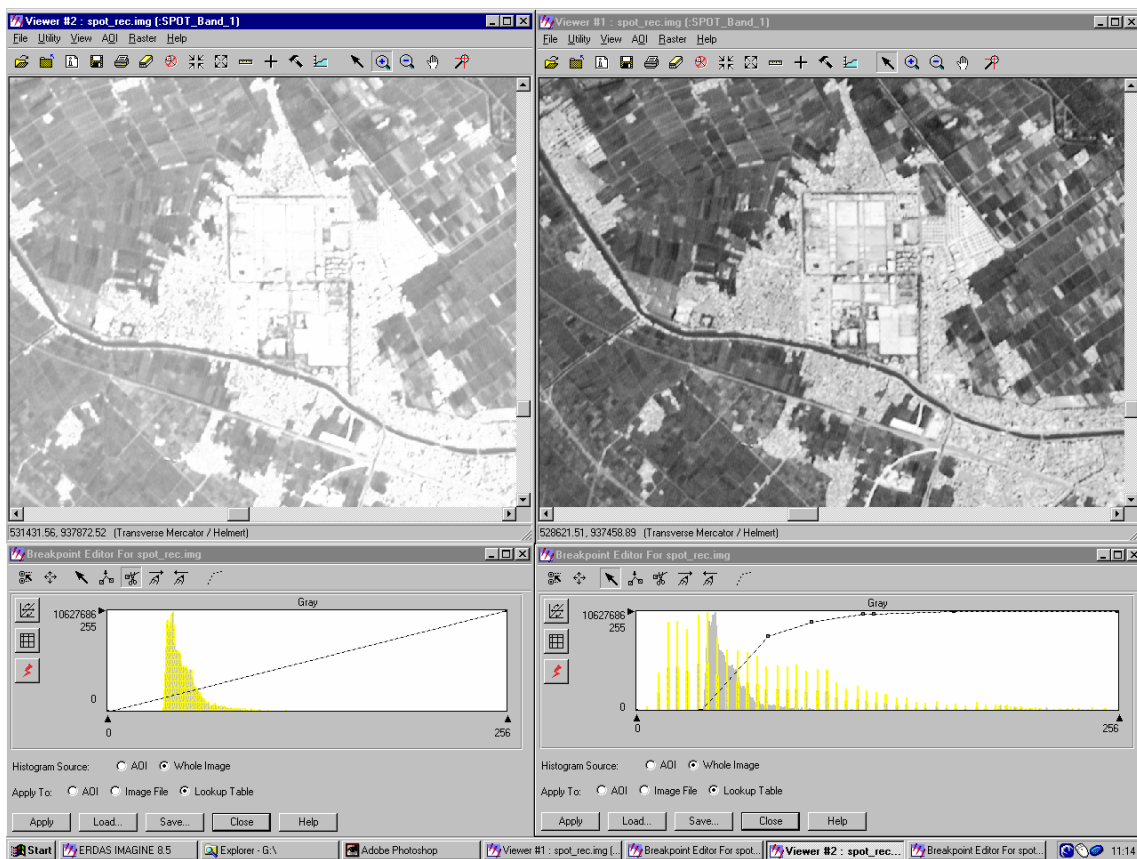


Abb.19: Kontrastverbesserung der IRS-Szene (Stadt Kafir Ad-Dawwar) mit zugehörigen Histogrammen: links kontrastarme und unbearbeitete Version. Rechts Kontrastveränderung durch setzen von Breakpoints.

### 3.2.3 Visuelle Interpretation der Satellitenbilder

#### Interpretation der Satellitenbilddaten

Die systematische Interpretation wird in vier Teilbereiche unterteilt: Erkennen von Objekten nach Lage und Art, quantitatives Erfassen von Rauminhalten, qualitatives Vergleichen von in einem Raum auftretenden Phänomenen und der Bewertung von Raumparametern. Um diese Schritte durchführen zu können, ist es sinnvoll, einen bzw. mehrere Feldaufenthalte durchzuführen, um ein genaues Bild der zu



interpretierenden Landschaft zu erhalten. Für einen solchen Feldaufenthalt sollte die Satellitenbilddatenbasis einer entsprechenden Voruntersuchung unterzogen werden. Dabei werden die zu erwartenden Problemgebiete deutlich und der Feldaufenthalt kann effizienter gestaltet werden.

- Erkennen von Objekten:  
Der einleitende Arbeitsschritt einer Interpretation ist das Erkennen von Objekten. Somit wird der Beobachtungsraum einer ersten Strukturierung unterzogen. Begrenzender Faktor für die Zuverlässigkeit dieses Wahrnehmungsprozesses ist sowohl die Dichte und Visualisierung des Satellitenbildinhaltes als auch das Bildverständnis des Betrachters.
- Erfassen von Rauminhalten:  
Nach der rein qualitativen Erfassung von Objekten, folgt die quantitative Erfassung. Dazu zählt unter anderem das Ausmessen von flächenhaften, bzw. das Auszählen von punkthaften Elementen. Somit werden die strukturellen Eigenheiten eines Raumes erfasst. Hierbei ist es sinnvoll, Sinnklassen zu bilden und die erfassten Objekten in diese einzuordnen.
- Vergleich von Phänomenen:  
Die erfassten Informationen über Häufigkeit, Dichte und Verbreitung einzelner Raumparameter bilden die Grundlage für anschließenden Vergleich und Analyse. Es werden erneut Klassen gebildet, in denen die Objekte zusammengefasst werden. Die Verifizierung der Genauigkeit dieser Klassen erfolgt durch Abgleich mit den Informationen, die während eines Feldaufenthaltes verankert wurden, in Trainingsgebieten (Abb. 20 und Abb. 21). Positiv kann sich auch ein temporaler Vergleich ein und desselben Gebietes auswirken, da sich hierbei verschiedenste Phänomene spezifizieren lassen.
- Bewertung von Raumparametern:  
Bei der Bewertung kommt es auf die Charakterisierung der räumlichen Beziehungen der einzelnen Objekte an. Dadurch lässt sich auf die Funktion, Entwicklung und Struktur schließen. Der Prozess der Bewertung bildet dabei jedoch einen fließenden Übergang mit der Deutung. Hierbei wird oft auch eine fachspezifische Fragestellung miteinbezogen, z.B. die Differenzierung und Analyse des betrachteten Raumes, die Bewertung naturräumlicher Gegebenheiten usw.

Im nächsten Schritt werden die gewonnenen Kenntnisse mittels Digitalisierung in *ArcView* umgesetzt (Abb. 22 und Abb. 23).

Abschließend ist festzuhalten, dass die Interpretation sich zwar an geowissenschaftliche Rahmenbedingungen hält, aber jedoch immer eine Individualleistung ist. Daher ist auch das Ergebnis als ein solches zu verstehen.



(a)

(b)



(c)



Abb. 20: Identifikation von Objekten auf dem Satellitenbild (b) durch Geländebegehung (a) Dünengebiet und (c) Gewächshäuser.



*Abb. 21: Identifikation eines Objektes (Internationale Brücke über den Nil) auf dem Satellitenbild durch Geländebegehung.*

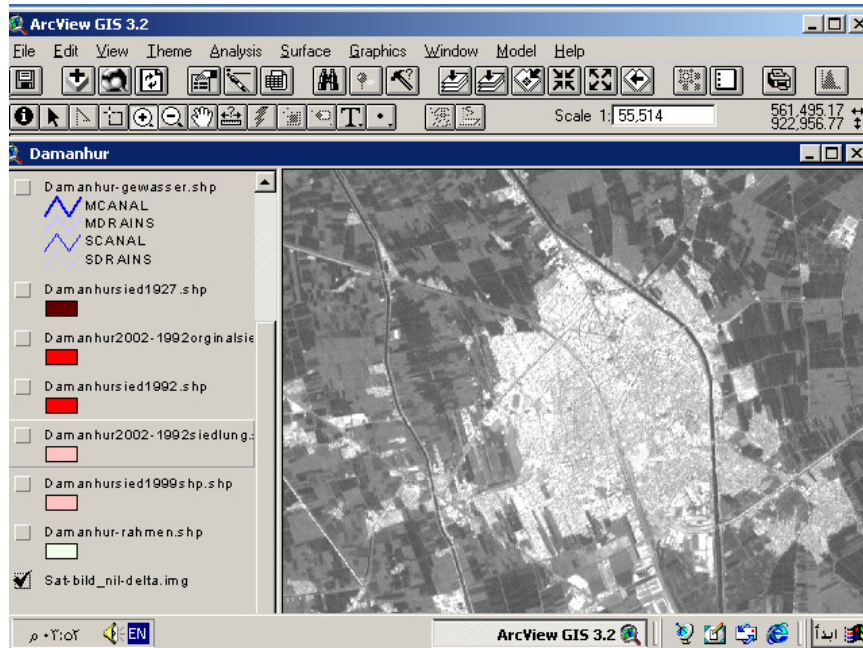


Abb. 22: Ausschnitt des IRS/1D-Satellitenbilds von 1998 vor der Interpretation. Stadt Damanhur.

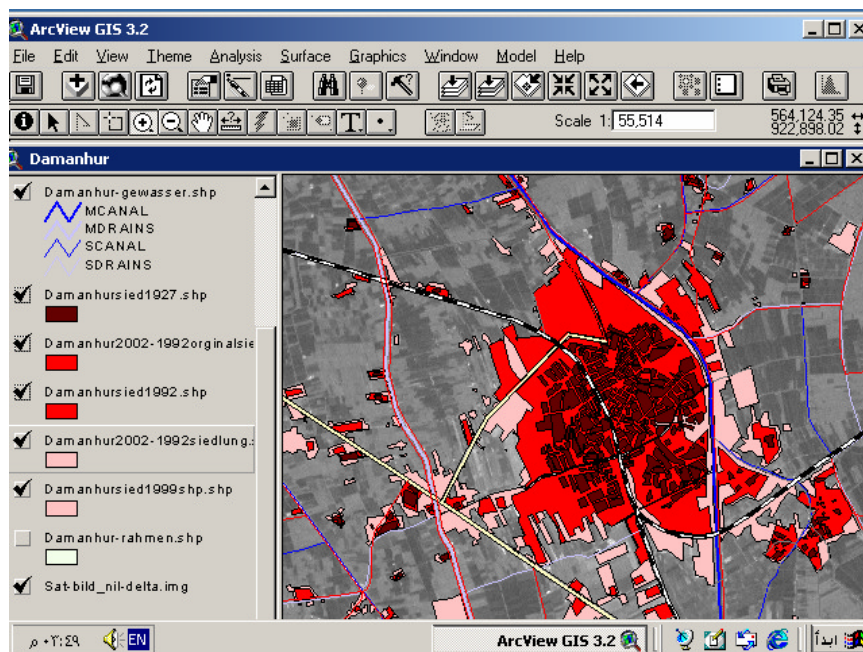


Abb. 23: Ausschnitt (Stadt Damanhur) der IRS/1D-Satellitenbildszene von 1998 nach Erkennung der Siedlung und Hinzufügen neuer topografischer Elemente durch digitalisieren.