

- LIST, F. K., HELMCKE, D., MEISSNER, B., ROLAND, N. & PÖHLMANN, G. (1978): Geologische Interpretation des Tibesti nach Aufnahmen von Landsat-1, Republ. Tschad. - BuL, 78, 4, 139-145, Karlsruhe.
- MEISSNER, B. (1976): Photogeologische Untersuchungen und deren Ergebnisdarstellung im Neogen von Ost-Samos/Griechenland. - BuL, 78, 4, 94 - 99, Karlsruhe.
- MEISSNER, B. (1979): Untersuchungen zur Bruchtektonik in der Zentralägäis. - Berliner geowiss. Abh., A, 17, 1 - 122, Berlin.
- MEISSNER, B. & TEHRANI, R. (1984): Zur Methodik der visuellen Interpretation von Fernerkundungs-Daten für die geologische Kartierung in kleinen Maßstäben. - (unveröffentl. Manusk.).
- MUNIER, Ch. (1983): Verarbeitung von Filmen für das OPTRONICS COLORWRITE SYSTEM (Optimierung von Filmverarbeitung). - Berliner geowiss. Abh., A, 47, (im Druck).
- RIPKE, U. (1984): Geologie der westlichen Dakhla Oasen, Ägypten. - (unveröffentl. Manusk.).
- ROLAND, N. W. (1973): Die Anwendung der Photointerpretation zur Lösung stratigraphischer und tektonischer Probleme im Bereich von Bardai und Aozou (Tibesti-Gebirge, Zentral-Sahara). - Berliner Geogr. Abh., 19, 80 S., Berlin.
- SAID, R. (1962): The Geology of Egypt. - 377 S., Amsterdam (Elsevier).
- SALAHCHOURIAN, M. H. & TEHRANI, S. R. H. M. (1982): Eine photogeologische Luftbilddauswertung nördlich und südlich des Enneri Dilenao im Tibesti-Gebirge, Zentral-Sahara, Tschad. - Berliner Geogr. Abh., 32, 99 - 132, Berlin.
- SCHOELE, R. (1983): Das "Geowissenschaftliche Multibild Auswerte- und Prozessor System" GEOMAPS. - Berliner geowiss. Abh., A, 47, (im Druck).
- STOCK, P. (1972): Photogeologische und tektonische Untersuchungen am Nordrand des Tibesti-Gebirges, Zentral-Sahara, Tschad. - Berliner Geogr. Abh., 14, 59 S., Berlin.

Berliner geowiss. Abh.	(A)	47	87-93	2 Abb.	Berlin 1983
------------------------	-----	----	-------	--------	-------------

ZUR KARTIERUNG ALTER ENTWÄSSERUNGSSYSTEME IN DER SAHARA MIT HILFE  
VON FERNERKUNDUNGS-DATEN - AM BEISPIEL DES NORDWEST-SUDAN <sup>+</sup>

von

BERND MEISSNER und HANS-JOACHIM SCHMITZ<sup>++</sup>

ZUSAMMENFASSUNG

Alte Entwässerungssysteme als Zeugen pleistozäner bis subrezenter Feuchtperioden in der Sahara sind bisher in Teilen Nordafrikas nur unzureichend kartiert. Eine Methode der schnellen Erfassung dieser Entwässerungsspuren mit Hilfe der Fernerkundung, speziell durch Interpretation von Landsat-MSS-Daten, wird vorgestellt. Das bisher bekannte Entwässerungsnetz im Nordwest-Sudan konnte durch den Einsatz dieser Methode ergänzt werden. Die Ergebnisse werden diskutiert.

SUMMARY

Ancient drainage systems, which are vestiges of pleistocene to subrecent damp periods in the Sahara, have been insufficiently mapped in regions of Northern Africa. A method for quickly detecting drainage traces by means of remote sensing, particularly by the interpretation of LANDSAT-MSS data, is introduced. The currently known drainage system in the north-western Sudan, could be complemented by employing this method. The results are discussed.

RESUME

Les anciens systèmes de drainage comme témoins pleistocènes jusqu'aux périodes subrécentes dans la Sahara ont été subis dès lors à un cadrage cartographique insuffisant dans quelques parties de l'Afrique du Nord. Une méthode rapide de la détection de ces traces de drainage à l'aide de la reconnaissance à grande distance, particulièrement par l'interprétation de données Landsat-MSS, est représentée. Le réseau de drainage connu jusqu'à présent dans le Sudan du nord-ouest pouvait être complété en employant cette méthode. Les résultats en sont discutés.

<sup>+</sup> Aktualisierter Vortrag der Verfasser beim "Arbeitskreis für Luftbildinterpretation und Fernerkundung" und der "Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung", München - März 1981

<sup>++</sup> Anschrift der Verfasser: Dr. Bernd Meißner, Institut für Angewandte Geologie - Fernerkundung -, Freie Universität Berlin, Malteser Str. 74 - 100, D-1000 Berlin 46  
Dipl.-Geol. Hans-Joachim Schmitz, Institut für Angewandte Geologie - Fernerkundung -, Freie Universität Berlin, Malteser Str. 74 - 100, D-1000 Berlin 46

## 1. EINLEITUNG

Der aride Raum Nordafrikas ist bisher nur von topographischen Karten sehr unterschiedlicher Inhaltsdichte erfaßt. Flächendeckend stehen hier nur die Maßstäbe 1 : 2 Mill. und 1 : 1 Mill. zur Verfügung. Besonders dürftig sind die topographischen Informationen in großen Teilen der Ostsahara. In den westlich des Nils gelegenen Teilen Ägyptens und des Sudans zwischen der Mittelmeerküste und dem 16. Breitenkreis existieren zwar topographische Karten im Maßstab 1 : 500 000 (Ägypten) und 1 : 250 000 (Sudan), doch stammen deren Inhalte überwiegend noch aus Routen-Aufnahmen entlang der alten Karawanenwege und Forschungsreisen aus der ersten Jahrhunderthälfte. Die im Raum der West-Sahara in den 50-er und 60-er Jahren benutzte Interpretation von Luftbildmaterial wurde hier bisher kaum eingesetzt. Zudem sind zur Zeit immer noch nicht alle Bereiche von Luftbildern abgedeckt.

Die seit 1972 zur Verfügung stehenden Satelliten-Aufnahmen der "Landsat-Serie" ermöglichten es erstmals, flächendeckende Informationen in Basiskarten für thematische Kartierungen zu verwenden (LIST et al. 1978, PÖHLMANN et al. 1982, 1983). Die geologische Interpretation von Landsat-Aufnahmen (LIST et al. 1982, SCHMITZ 1983) erbrachte bei gezielter Sichtung der ersten Arbeitsergebnisse eine Vielzahl von Entwässerungsnetz-Bruchstücken, die bisher nicht bekannt waren. Eine vollständige Erfassung des Entwässerungsnetzes arider Gebiete erschien aber nicht nur zur Verbesserung topographischer Inhalte von Basiskarten zur geowissenschaftlichen Forschung notwendig, sondern könnte auch weiterführende thematische Fragen mit beantworten helfen, die an die wasserführenden Systeme von einst und heute gebunden sind.

## 2. ARBEITSMETHODIK

Das Entwässerungsnetz arider Gebiete ist in feuchteren Phasen der Klimageschichte dieser Räume angelegt worden und wird nur noch von periodisch bis episodischen Regenfällen zum Abfluß genutzt. In Regionen mit weniger als 100 mm Jahresniederschlag handelt es sich demnach schon überwiegend um ein fossiles Entwässerungsnetz, das zudem noch von der Winderosion und -akkumulation stark entstellt oder verdeckt wird. Soweit sich im Wadibett ein lokaler Grundwasser-Horizont noch ausbilden kann, markiert sich dieser durch die typische perlenschnurartige Busch- oder Baumvegetation und ist Zeuge eines rezenten Wadis. Hierbei kann die Grundwasser-Erneuerung in vielen 100 km Entfernung erfolgen, wie es z. B. im Wadi Howar/Sudan der Fall ist.

Fehlt die Vegetation, stellen sich die Entwässerungslinien nur noch durch zwei Phänomene im Bildmaterial dar:

- Linienhafte negative Reliefformen
- Linienhafte Materialunterschiede zur Nachbarschaft

Zumindest eine dieser Veränderungen der Erdoberfläche muß im Bildmaterial deutlich wiedergegeben werden, um eine Interpretation zu ermöglichen. Hierbei erhöht die Kombination beider Darstellungsphänomene die Interpretations-Sicherheit.

Da die Entwässerungslinien von den verschiedenen Aufnahmesystemen unterschiedlich wiedergegeben werden, muß kurz auf ihre Besonderheiten eingegangen werden.

Luftbilder liegen aus Wüstenregionen in der Regel als Schwarz/Weiß-Papierabzüge von Weitwinkel-Aufnahmen auf panchromatischem Film im Format 18 cm x 18 cm oder 23 cm x 23 cm vor. Üblich sind Maßstäbe um 1 : 50 000, seltener bis zu 1 : 20.000.

Die überlappend aufgenommenen Luftbilder ermöglichen eine stereoskopische Betrachtung des Reliefs und geben so die beste Möglichkeit auch flache, feingliedrige, sich im Relief widerspiegelnde Netze in homogenen Gesteinen zu erfassen. Der materialbedingte Unterschied wird als Schwarz/Weiß-Differenzierung innerhalb der Reflexions-Differenzen im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Wellen-Spektrums wiedergegeben. Die hohe Auflösung des Bildmaterials erlaubt eine große Detaillierung.

Multi-Spektral-Scanner (MSS) von Landsat-1, -2, -3 erfassen kontinuierlich zeilenweise in 4 Kanälen des sichtbaren Lichtes (ohne Blau) und des Nahen-Infrarots die Erdoberfläche. Die Aufnahmen liegen als Magnetbänder oder Filmabspielungen vor und eignen sich wegen der geringen Auflösung (Bildpunkt 79 m x 79 m) maximal für Interpretationen im Maßstab 1:250.000.

Das Relief wird in diesem Bildmaterial nur indirekt - durch Schattenwurf - dargestellt. Jahreszeitliche Unterschiede in der Darstellung der Reliefkomponente der Entwässerungslinien sind durch den unterschiedlichen Sonnenwinkel gegeben (MEISSNER 1979).

Die bei Magnetbändern mögliche Bildvorverarbeitung ermöglicht eine optimale Darstellung der extrem großen Differenzierung von Reflexionsunterschieden. Zusätzlich erlaubt die Datenerfassung in verschiedenen Kanälen das Herstellen von Color-Kompositen-Bildern, die unterschiedliches Reflexionsverhalten von drei Spektralbereichen in Farbdifferenzen darstellen. Informationszugewinn durch verschiedene Kanäle kann inzwischen auch in Schwarz/Weiß-Abspielungen vereinigt werden (Abb. 1).

Return-Beam-Vidicon (RBV)-Aufnahmen von Landsat-3 wurden von zwei TV-Kameras im sichtbaren Licht (ohne Blau) als Momentaufnahmen mit der doppelten Auflösung des MSS (29 m x 29 m) erfaßt.

Auch dieses Bildmaterial stellt das Relief nur indirekt dar. Eine Bildverarbeitung ist zwar auch möglich, wenn die Daten auf Magnetband vorliegen, doch ist die Oberflächen-Differenzierung durch die geringe Bandbreite und die fehlende multispektrale Betrachtung eingeschränkt.

Die bessere Auflösung und die Betonung der Schatten ermöglichen eine detailliertere reliefbedingte Erfassung von Entwässerungsnetzen als in MSS-Aufnahmen.

Satelliten-Radar-Aufnahmen haben sich zwar als besonders geeignet für die Interpretation von Wasser- und Feuchtgebieten erwiesen (SALOMONSON 1983), doch liegen diese bisher nur als Teststreifen von SIR-A vor und auch für den, Ende 1983, zu erwartenden SIR-B-Flug ist keine flächendeckende Erfassung größerer Areale vorgesehen. In ariden Regionen ist wegen der sehr geringen Bodenfeuchte der Wirkungsgrad der Mikrowellen stark reduziert. Eigene Vergleichsuntersuchungen mit Landsat-MSS-Daten führen zwar zu einer weit realistischeren Einschätzung als die von McCAULEY et al. (1982) über den Daten-Zugewinn durch dieses neue Verfahren, doch sind Satelliten-Radar-Aufnahmen in der Zukunft sicher eine wertvolle Informationsergänzung bei der Erfassung von Entwässerungslinien in Lockermaterialien.

Für großflächige Kartierungen in kleinen Maßstäben stehen also bisher nur MSS-Aufnahmen zur Verfügung, da für bestimmte Regionen Bildmaterial anderer Systeme entweder nicht oder nur bruchstückartig vorliegt oder nicht zur Einsicht freigegeben ist.

Bei Interpretationen in großen Teilen Ägyptens und im Tibesti-Gebirge konnte auch anderes Bildmaterial als Zusatzinformation herangezogen werden.

mußte sich dagegen ausschließlich auf Landsat-MSS-Daten stützen. Die Auswertung erfolgte auf Diapositiven von Color-Kompositen im Maßstab 1 : 500 000 der Kanäle 4, 5 und 7 des MSS von Landsat. Hierbei wurden alle schmalen, gewundenen Formen erfaßt, die sich durch Schattenwurf (Relief) oder Reflexions-Differenzen der Oberflächen markierten. Es zeigten sich auch breite Bänder mit Textur-Unterschieden innerhalb von großflächigen Sandbedeckungen, die als Fortsetzung großer, alter Wadiläufe interpretiert wurden.

## 3. INTERPRETATIONS-ERGEBNISSE IM NORDWEST-SUDAN

Im nordwestlichen Sudan wurden nördlich des 15. Breitenkreises und westlich des 30. Längengrades die Hauptentwässerungsrinnen erfaßt. Diese sind in Abb. 2 westlich des Nils bis zum 20. Breitenkreis im Norden dargestellt und dem Inhalt der Top. Karte "Africa 1 : 2 Mill/Sheet 14 und 15" in diesem Maßstab gegenübergestellt.

Ein Vergleich der Inhalte von Abb. 2 zeigt einen deutlichen Informationszugewinn im gesamten Bearbeitungsgebiet.

Auch südlich 16°30' nördlicher Breite, die etwa die Grenze des 100 mm-Niederschlags/Jahr markiert, sind



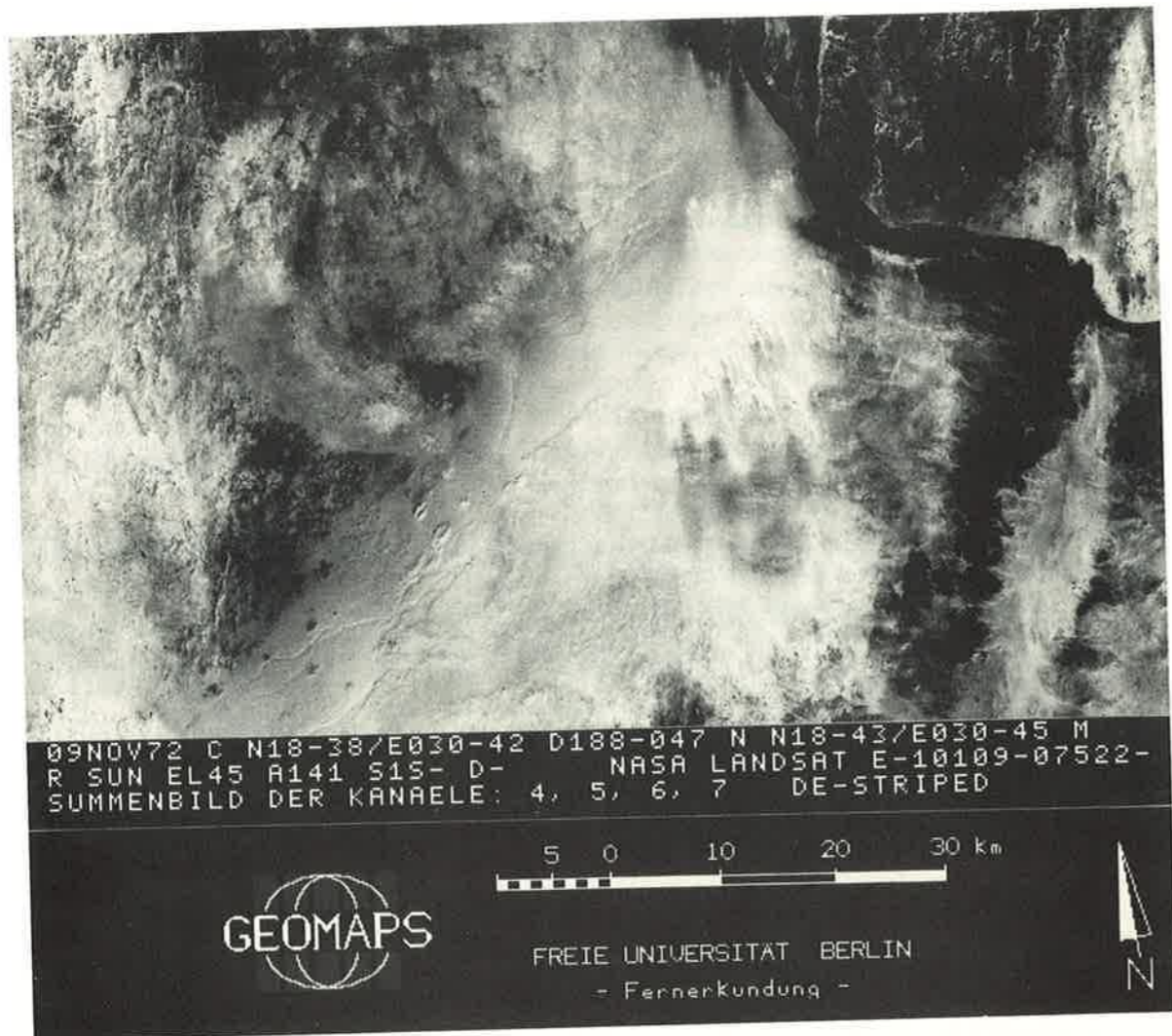


Abb. 1: Mündung des Wadi Howar in den Nil  
- Summenbild der Kanäle 4, 5, 6 und 7 von Landsat-1 am 9. Nov. 1972

Abb. 2: Entwässerungslinien im Nordsudan, westlich des Nils im Maßstab 1 : 1 000 000  
Gegenüberstellung von bekannten Entwässerungssystemen ( Army Map Service / Africa  
1972 ) : Strich und der Interpretation von Landsat-MSS - Aufnahmen : Raster





0-45 M  
09-07522-  
D

km



1972

ca





neue Wadiläufe zu verzeichnen. Letztere müssen als rezente Entwässerungslinien angesehen werden, zumal z. T. an ihrem Verlauf auch Vegetation auszumachen ist. Auch in der Karte dargestellte Entwässerungslinien zeigen gegenüber der Interpretation, von Detail-Abweichungen ganz abgesehen, gelegentlich erhebliche Lagefehler.

Augenfälligstes Ergebnis der Interpretation ist der Unterlauf des Wadi Howar, welches auf bisherigen Kartendarstellungen am Gebel Rahib endete. Über seine rezente Endpfanne hinaus konnte es bis zu seiner Mündung in den Nil verfolgt werden. Die in Abb. 1 gezeigte Nil-Einmündung wurde erst nach der Bildvorverarbeitung als Summenbild deutlich sichtbar. Hier sind im alten, breiten Wadilauf Spuren einer jüngeren Generation von Entwässerungslinien sichtbar. Mit rund 1 000 km Länge ist das Wadi Howar mithin einer der wichtigsten alten Nebenflüsse des Nils.

Westlich des bisher bekannten Wadi Howar und der Oase Nukheila wurden bisher noch unbekannte Entwässerungssysteme erfaßt, die wahrscheinlich über das Wadi Howar ebenfalls in den Nil entwässerten. Hierbei wäre zu überprüfen, ob nicht Teile des nordwestlich von Nukheila gelegenen Systems zeitweise in die Murdi-Depression entwässerten. Wahrscheinlich ist jedoch, daß diese Systeme zumindest vorübergehend in Seen mündeten, deren Ablagerungsreste sich südwestlich von Atrun befinden sollten.

Schließlich läßt sich der schmale Depressions-Schlauch von Laqua Umran im Norden mit Hilfe der Interpretation als Teil eines nach Osten entwässernden Systems verstehen. Eine Verbindung zum Nil konnte bisher nicht ausgemacht werden.

#### 4. DISKUSSION

Die richtige Deutung der Fortsetzung des Wadi Howar konnte inzwischen von Pachur (mündl. Mitt.) bestätigt werden, der 1982 an mehreren Stellen des "Unterlaufs" Proben von Wadi-Sedimenten entnehmen konnte. Der Wadi Howar-Unterlauf ist auf guten Bildern jedoch auch eindeutig erkennbar (nicht aber im Gelände, deshalb konnte er auch früher nicht kartiert werden) und wurde inzwischen auf einer Karte des Geological Survey of Sudan (G.M.R.D., 1981) ebenfalls dargestellt. Größere Probleme bereitet die vollständige Kartierung der Neben-Wadis, die sich teilweise im Sand verlieren und dort nur angedeutet werden konnten.

Es kann aber davon ausgegangen werden, daß die Interpretationssicherheit in den übrigen Bereichen so groß ist, daß Geländekontrollen bevorzugt in Problemgebieten beschränkt werden können.

In einigen Fällen wäre eine Ergänzung der Landsat-Auswertung durch Luftbilder und Radar-Aufnahmen sinnvoll. So konnte z. B. zunächst nicht entschieden werden, ob eine sich bei Dabis/Südägypten entlangziehende Struktur ein Wadi oder ein flacher Rücken ist. Erst im Luftbild konnte sie eindeutig als Wadi zugeordnet werden.

#### 5. LITERATURVERZEICHNIS

- ARMY MAP SERVICE (1972?): Africa 1 : 2 Mill., Sheet 14 (El Fasher); Sheet 15 (El Khartoum). - Washington, D.C.
- G.M.R.D. (1981): Geological Map of the Sudan. - Geological and Min. Dep., Khartoum.
- LIST, F. K., HELMCKE, D., MEISSNER, B., ROLAND, N. & PÖHLMANN, G. (1978): Geologische Interpretation des Tibesti nach Aufnahmen von Landsat-1, Republ. Tschad. - *BuL*, 78, 4, 139 - 145, Karlsruhe.
- LIST, F. K., BURGER, H., KLITZSCH, E., MEISSNER, B., PÖHLMANN, G. & SCHMITZ, H.-J. (1982): Application of visual interpretation and digital processing of Landsat data for the preparation of a Geological Interpretation Map of Southwestern Egypt at a scale of 1 : 500 000. - *Proceed. internat. Symposium Rem. Sens. Environment. 1. them. Conf.: Rem. Sens. arid semi-arid Lands*, 2, S. 849 - 858, Cairo.
- Mc CAULEY, J. F. et al. (1982): Subsurface Valleys and Geoarcheology of the Eastern Sahara Revealed by Shuttle Radar. - *Science* Vol. 218, S. 1004 - 1020.
- MEISSNER, B. (1979): Untersuchungen zur Bruchtektonik in der Zentralägäis. - *Berl. Geowiss. Abh.*, A, 17, 1 - 122, Berlin.
- PÖHLMANN, G., MEISSNER, B. & LIST, F. K. (1982): Egypt 1 : 250 000 - Working Sheet. - NG 35-C Mut: Sheet Qur el Malik, Sheet Abu Ballas, Sheet Mut, Sheet Six Hills. - NG 35-B Farafra: Sheet Qasr Farafra, Sheet Abu Minqar, Sheet Bir Karawein, Sheet Naqb el-Khashabi. - TFH, Berlin.
- SCHMITZ, H.-J. (1983): Geologische Interpretation von Landsat-Bildern des Nordwest-Sudan. - *Berliner geowiss. Abh.*, (A), 47, (im Druck).