



Geologie der westlichen Dakhla-Oasen / Ägypten – Kartierung mit Hilfe von Fernerkundungsdaten –

von Ursula Ripke

Vorgelegt als Diplomarbeit am Institut für Angewandte Geologie – Fernerkundung – im Fachbereich
Geowissenschaften der Freien Universität Berlin 1984

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand am Institut für Angewandte Geologie – Fernerkundung – der Freien Universität Berlin unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. F. K. List, dem ich an dieser Stelle herzlich danken möchte.

Herrn Dr. B. Meißner gilt mein besonderer Dank, da er neben der verständnisvollen Betreuung und Einführung in die Geländearbeit stets ein geduldiger und kritischer Gesprächspartner war.

Für die Beratung in photogeologischen und vor allem mineralogischen Fragen danke ich den Herren Dipl.-Geol. M. H. Salahchourian und Dr. R. Tehrani, sowie Herrn Dipl.-Geol. N. Leiner, der bei der Aufnahme von Dünnschliffphotos behilflich war und Herrn Dipl.-Geol. Streich für die Bestimmung der planktonischen Fauna.

Nachträgliche Bemerkung der Autorin: Die hier vorliegende Arbeit wurde nach der originalen, mit Schreibmaschine geschriebenen Diplomarbeit hergestellt. Die hand-gezeichneten Übersichtskarten (Abb. 1 und 2, Abb. 25) des Textes wurden durch neuere Abbildungen ersetzt. Einige der Fotos konnten nicht mehr im Original aufgefunden werden. Es handelt sich in diesen Fällen um Scans von Fotoabzügen, deren Qualität daher nicht so gut ist.

Auch bei den Stereomodellen im Kapitel 3 (Photogeologie) handelt es sich um Scans, die mit Photoshop überarbeitet wurden.

Die Schreibweise wurde teilweise auf die Rechtschreibung 2006 umgestellt. Der Buchstabe „ß“ wurde teilweise durch „ss“ ersetzt. Inkonsistenzen in der Ersetzung des PH durch F (Photo / Foto) wurden aber beibehalten.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG

- 1.1 Geographischer Überblick
- 1.2 Geologischer Überblick
- 1.3 Frühere Arbeiten

2. LITHOSTRATIGRAPHIE

- 2.1 Taref-Formation
- 2.2 Mut-Formation
 - 2.2.1 Unterer Sandstein
 - 2.2.2 Mut-Shale
 - 2.2.3 Oberer Sandstein
- 2.3 Dakhla-Formation
 - 2.3.1 Phosphat-Serie
 - 2.3.2 Top der Phosphat-Serie
 - 2.3.3 Dakhla Chalk
 - 2.3.4 Dakhla Shale
- 2.4 Tarawan-Formation
- 2.5 Quartäre Ablagerungen
- 2.6 Profile

3. PHOTOGEOLOGIE

- 3.1 Problemstellung
- 3.2 Arbeitsmaterial und -methodik
 - 3.2.1 Grundbegriffe der Photogeologie
 - 3.2.2 Arbeitsunterlagen und Geräte
 - 3.2.3 Arbeitsweise
- 3.3 Lithologische Ergebnisse
 - 3.3.1 Taref-Formation
 - 3.3.2 Mut-Formation
 - 3.3.3 Dakhla-Formation
 - 3.3.4 Tarawan-Formation
 - 3.3.5 Quartäre Ablagerungen und Oasenflächen
- 3.4 Tektonische Ergebnisse

4. VERGLEICH DER KARTIERUNGEN 1 : 50 000 und 1 : 100 000

5. LITERATUR

Anhang

- Geologische Karte: Mut (Dakhla Oasis) 1 : 100 000
- Geologische Karte: Ezbet Birbaya (Dakhla Oasis) 1 : 50 000

1. EINLEITUNG

1.1 Geographischer Überblick

Die Dakhla Oase liegt im Herzen der Western Desert, ca. 550 km südwestlich von Kairo und 370 km westlich des Niltals (Abb. 1). Als Teil des New Valley Landnutzungsprojektes erstreckt sie sich annähernd 100 km in E/W-Richtung (Abb. 2). Die N/S-Ausdehnung schwankt zwischen einigen 100 Metern und mehr als 10 km. Im Norden wird die Oasenfläche durch den bis zu 300 m hohen Steilhang eines Kalkplateaus begrenzt. Dieses, sich in E/W-Richtung erstreckende Plateau ist das morphologisch dominierende Element der Dakhla Region.

Das Plateau befindet sich in recht unterschiedlichen Erosionsphasen. Während die leicht nach N einfallende Oberfläche durch ein Windrelief geprägt wird, weist der südliche Abhang starke Rutschungen und Zersetzungserscheinungen, sowohl durch äolische, wie auch durch fluviale Kräfte, auf. Die Steilkante besitzt mehrere Vorsprünge unterschiedlicher Größe. Das Budkhulu Promontory nördlich des Hautortes Mut ist ein 8 km breiter Sporn, dem nördlich ein 5 km breites Hochtal angeschlossen ist, das an drei Seiten durch Steilhänge begrenzt wird. Drei km nördlich der alten Oasenstadt El-Qasr



Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes in Ägypten (Ausschnitt aus: MEISSNER, B. & RIPKE, U. (Hrg.) (1993): North-East Africa 1 : 8 000 000, TFH Berlin)

bildet das Plateau einen kleineren, stark erodierten Vorsprung nach Osten. Das durch diesen Sporn gebildete Hochtal bietet mit seinen mächtigen Sandfahnen den Aufstieg für den alten Kamelpfad von Dakhla nach Farafra.

Ca. 5 km westlich der zusammenhängenden Grünfläche von Ezbet el-Sheikh Saber el-Mawhub verläuft die nach Abu Minqar führende Teerstraße über einen flachen Sattel, der den Tafelberg Gebel Edmonstone und eine weitere inselartige Plateaumasse verbindet. Dem Sattel schließt sich nach Westen ein N/S verlaufender Dünenstreifen an, der die kleineren Oasenflecken von Gharb Mawhub von der Dakhla Oase trennt.

Am Fuße des stark erodierten Steilhanges befindet sich eine weitere Geländestufe, die im Wesentlichen durch Sandsteine gebildet wird. Mit einer Höhe von bis zu 40 Metern spielt sie bei der photogeologischen Kartierung der Region eine bedeutende Rolle.

Nach Süden schließt sich ein relativ ebenes, leicht zum Steilhang einfallendes Gelände an. Es bildet mit seinen Seebodenrelikten und den oberflächennahen Tonschichten die geeignete Grundlage zur Anlage von Oasenflächen. Einige Dünenstreifen teilen die landwirtschaftlich genutzten Gebiete in kleinere, unregelmäßige Einheiten, von denen die um den Hauptort Mut die größte ist. Im Weiteren wird das nach Süden leicht ansteigende Gelände von Sandsteinen geprägt, die für den rauen Charakter und die sehr schlechte Befahrbarkeit verantwortlich sind.

1.2 Geologischer Überblick und frühere Arbeiten

Die Dakhla Oasen sind auf dem Boden einer Depression angelegt, die der „Nubischen Plattform“ (BARTHEL & HERRMANN-DEGEN 1981) nördlich vorgelagert ist.

Die hier vertretenen Gesteine gehören hauptsächlich den Sedimenten des Dakhla-Beckens an. Dieses, im S, E und W durch präkambrische Schwellen begrenzte Becken (Uweinat-Assuan-Schwelle, Kharga-Schwelle, Gilf Kebir-Schwelle), wurde mehrmals von Transgressionen aus nördlichen Richtungen erreicht. Der Materialtransport erfolgte aus südlichen Richtungen (BISEWSKI 1982).

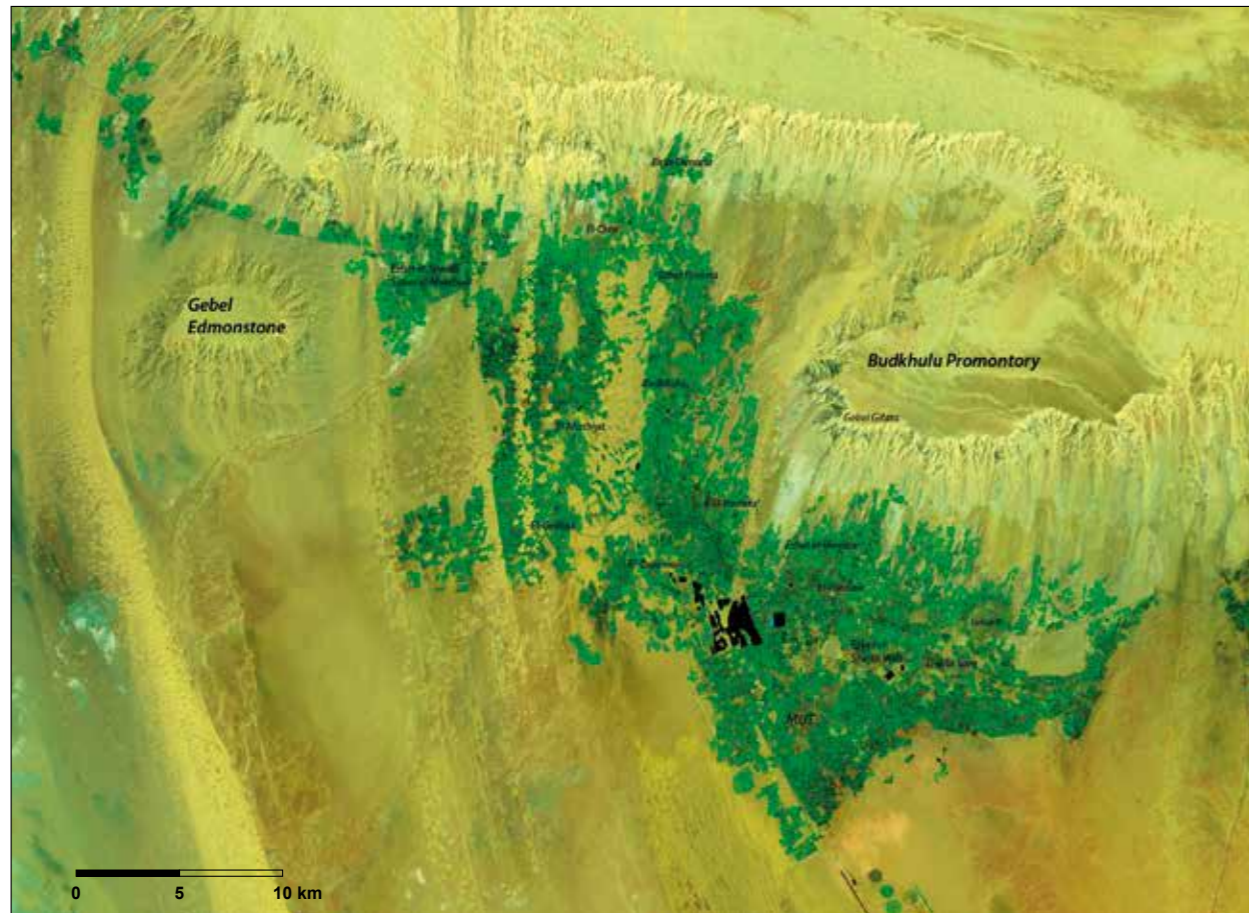


Abb. 2: Topographische Übersicht des Arbeitsgebietes (Satellitenbild: NASA/USGS (2017): Landsat 8, OLI 177-042, Kanäle 753, 06-09-2017)

Die ältesten, im Arbeitsgebiet anstehenden Ablagerungen befinden sich süd-östlich der Mut-Oase. Es handelt sich um Flußsande der Taref-Formation. Diese, durch die Erosion gut herauspräparierten Sandsteinkörper schließen nach oben mit siltigen Bodenhorizonten von 1,2 bis 1,5 m Mächtigkeit ab. Diskordant werden diese von einer sandigen Deltaschüttung überlagert. Dieser, wenige Meter betragende Sandsteinkörper, lässt sich über eine Strecke von mehr als 20 km verfolgen und bildet eine hervorragend zu kartierende Grenze zwischen Taref-Formation und Mut-Formation, als deren Basis er betrachtet wird.

Die sandig-tonige Wechselfolge der hangenden Mut-Shales („Variegated Shales“) bildet die Grundlage für den Oasenbau, da sie als oberer Stauhorizont tieferer Wasserreservoirs fungiert. Die Shales sind sehr verwitterungsanfällig und formen daher meist ebene Flächen, denen jüngere

Seeablagerungen und brekziöse Konglomerate aus dem Plateaubereich aufgelagert sind.

Die Mut-Formation wird nach oben durch eine weitere prägnante Sandsteinschicht abgeschlossen, deren Mächtigkeit zwischen zwei und zwanzig Metern schwankt. Westlich von El-Hindaw schließen sich 40 m Phosphat-Serie an. Diese Einheit wird mit 17 m grau-grünen Tonen eingeleitet, auf denen eine Wechselfolge von fossilreichen Kalksteinen, Phosphatbeds und wiederum grau-grünen Tonen liegt. Mehrere der relativ harten Kalksteinschichten bilden morphologische Kanten. Die Phosphatbeds selbst, von denen mindestens drei (im Hochtal nördlich des Budkhulu Promontories) und maximal acht (8 km südlich des Gebel Edmonstone) einzelne, meist nur wenige cm mächtige Bänder, beobachtet wurden, sind leicht verwitterbar.

Die Mächtigkeit der Phosphat-Serie nimmt nach Osten bis auf maximal 26 m und nach Westen bis

auf 32 m ab. In der Dakhla Region ist sie von der Mut-Oase bis zur Oase Gharb Mawhub am Fuße des Steilhanges vertreten. Außerdem nimmt sie ausgedehnte Gebiete südlich der Oasen ein.

Die Oberkante dieser Serie wird von einer 20 cm bis 80 cm mächtigen harten silizischen Kalkbank gebildet. Diese Bank widersteht der Erosion und schützt dadurch die gesamte Phosphat-Serie.

Darauf folgen zwei bis drei, in der Mächtigkeit zwischen 0,5 und 2,5 m schwankende weiße Chalkbänder, die von maximal 60 cm rötlichen Sandsteinen getrennt werden.

Dann schließen sich ca. 200 m Dakhla Shale an. Hierbei handelt es sich um grau-grüne bis schwarze Tone, die von zahlreichen Silt- und Sandsteinlagen unterbrochen werden. Diese Folge steht an dem stark erodierten Steilhang nur selten vollständig an. Zahlreiche Rutschungen machen eine Profilnahme fast unmöglich. Die obere Kante und die sich nach Norden anschließende Plateaufläche wird von einer ca. 20 m bis 30 m mächtigen Kalkbank der Tarawan-Formation gebildet.

1.3 Frühere Arbeiten

Wesentliche Beiträge zur geologischen Situation und stratigraphischen Gliederung der westlichen Gebiete Ägyptens wurden erstmals von ZITTEL (1880, 1883) geliefert. Die Kreidesedimente im Oasenbereich gliederte er in vier Hauptabteilungen: Nubischer Sandstein, Tone mit *Exogyra* overwegi, grünliche und aschgraue Blättertone, Kreide und kreideartige Kalke.

BEADNELL (1901) beschrieb die Phosphat Beds mit ihrer wirtschaftlichen Bedeutung und den darüber folgenden Chalk in der Dakhla Region.

HERMINA, GHOBRIAL & ISSAWI (1961) bearbeiteten zahlreiche Profile, die sowohl den obersten Teil der sogenannten Nubischen Serie, als auch die scarp-bildenden Dakhla- und Tarawan-Formationen abdecken. Die genaue Beschreibung der Phosphatbeds und der darauf folgenden Weißen Mudstones bildet eine wesentliche Grundlage der hier bearbeiteten photogeologischen Interpretation. Weitere Bearbeitungen stammen von SAID (1962), der für den Bereich der Dakhla Oase fünf Einheiten (Nubia Sandstone, Variegated Shales, Phosphatic

Beds, Dakhla Shale, Chalk) erwähnt und in einem 481 m umfassenden Profil lithologisch beschreibt. Seit 1977 forschen Mitglieder der Freien Universität und der Technischen Universität Berlin in SW-Ägypten – seit 1981 zusammen mit der TFH Berlin im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 69 der DFG.

Erste Ergebnisse über die Stratigraphie der Nubischen Serie wurden von KLITZSCH (1978) veröffentlicht. In Zusammenarbeit mit der Technischen Fachhochschule Berlin gaben KLITZSCH & LIST (1980) eine vorläufige geologische Karte 1 : 500 000 heraus, die auf ersten Daten der Fernerkundung und Feldkontrolle basiert.

BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) bearbeiteten das Standardprofil der Dakhla Oase neu, wobei sie die bisherige Nomenklatur der Schichten änderten und ergänzten (Abb. 3).

Neueste Arbeiten stammen unter anderem von BISEWSKI (1982), der die mesozoischen Sedimente des Dakhla-Beckens in sechs Formationen gliedert und ihre stratigraphische Stellung weitgehend sichert.

2. LITHOSTRATIGRAPHIE

2.1 Taref-Formation

Die Sandsteine der Taref-Formation bilden mit ihren in N/S-Richtung langgestreckten, leicht gerundeten Rücken ein charakteristisches Landschaftsbild. Die Einzelformen besitzen eine Länge von wenigen Metern bis zu 300 m, und sie reihen sich z. T. kettenförmig aneinander. Die Breite erreicht teilweise 50 m. Die Zwischenräume sind bis zu 10 m Tiefe ausgeräumt. Diese tiefgelegenen Partien sind in quartärer Zeit von Seen bedeckt gewesen. An erosionsgeschützten Stellen lassen sich Reste des ehemaligen Seebodens erkennen.

Profilbeschreibung:

Die Taref-Formation besteht im Bearbeitungsgebiet aus einer Wechselfolge von hellgelblichen bis rötlichen Mittel- und Grobsandsteinen, die von Schrägschüttungssets von 0,1 bis 0,3 m Mächtigkeit untergliedert werden. Die Schüttung erfolgte vorwiegend aus südlichen Richtungen. In einzelnen

		HERMINA et al. (1961)	SAID (1962)	KLITZSCH (1978)	BARTHEL & HERRMANN- DEGEN (1981)	BISEWSKI (1982)	
Paläozän	Thanet	oberes	Chalk	Chalk	Tarawan Formation Chalk		
		mittleres					
		unteres					
	Mont	oberes					
		mittleres					
		unteres					
Dan	oberes	Chalk	Dakhla Shale	(?)	Dakhla Shale Member	(?)	
	mittleres						
	unteres						
Maastricht	oberes	Dakhla Shale	Phosphatic Beds	Dakhla Shale	Dakhla Shale Member		(?)
	mittleres	Phosphate Series Unit II Nubian Unit I Formation	Variegated Shales and Nubia Sandstone				
	unteres		Variegated Shale				
Campan				Gur el-Nalikh Member EL-Hindaw Member	Dakhla Formation		
Obere Kreide	Santon				Mut Formation	Mut Formation	
	Coniac			Taref Sandstone	Taref Formation	Taref Formation	
	Turon						
	Cenoman						

Abb. 3: Lithostratigraphische Einheiten der Dakhla-Region

Sets wurden Wickelstrukturen (convolute laminati- on) beobachtet, die auf plastische Deformationen während der Sedimentation aus der Suspension zu- rückzuführen sind (BISEWSKI 1982).

Südlich der Mut-Oase, im Bereich des Flughafens, werden die länglichen Rücken durch eher flächig auftretende, jedoch stark kaolinitisierte Sandsteine ersetzt. Profile, die an Einzelhügeln in unmittelbarer Nähe der Oase aufgenommen wurden, zeigen ca. 5 m schräggeschichteten hellen Sandstein, auf den 1,2 m bunte Siltsteine mit deutlicher Wurzel- tätigkeit folgen. An anderer Stelle wird dieser Bo- denhorizont durch eine feine Wechsellagerung von Feinsand- und Siltsteinen ersetzt. Den Abschluss bildet eine ca. 0,3 m mächtige Sandsteinlage, die als untere Sandsteinbank der Mut-Formation kar- tiert wurde.

Dünnschliff:

Die Taref-Sandsteine sind im Allgemeinen schlecht sortiert, die Quarzkörner sind angular bis subangular.

Primäres Bindemittel ist Kaolinit (BISEWSKI 1982), die Sandsteine sind dementsprechend mür- be und brüchig. In rötlichen Lagen nimmt der An- teil von Eisenhydroxid, das den Kaolinit verdrängt, zu.

Fossilinhalt:

Ablagerungsmilieu:

Die Ablagerungen der Taref-Formation sind als überwiegend fluviatil anzusehen. Die länglichen Sandsteinrücken sind herausgewitterte Reste ehe- maliger Flußfüllungen.

2.2 Mut-Formation

2.2.1 Unterer Sandstein

Die untere Sandsteinbank bildet eine zusammen- hängende Fläche über den fluviatilen Taref-San- den. Sie ist östlich und südöstlich der Mut-Oase aufgeschlossen.

Profilbeschreibung:

Die Basis der Mut-Formation besteht aus 1 m bis 3 m mittel- bis grobkörnigen, schlecht sortierten Sanden, die sich durch eher gelblich-weiße Farbe von den eher rötlichen Sanden der Taref-Formation unterscheiden. Schrägschüttungskörper von 0,4 bis 0,6 m Mächtigkeit mit Transport aus vorwiegend südlichen Richtungen wurden beobachtet. Zwi- schen Ismant und Balat gibt es jedoch auch Berei- che mit Schüttungen aus östlichen und nördlichen Richtungen.

Ein Profil, das 17 km südlich von Tineida aufge- nommen wurde und eine Vergleichsmöglichkeit der im Bearbeitungsgebiet anstehenden Taref-San- de liefern sollte, zeigt im oberen Bereich 8,6 m gelbliche, schlecht sortierte Grobsande mit Kies- fraktion, die von 5 m grünlichen, z. T. sandigen Siltsteinen überlagert werden. Die Schüttung kam vorwiegend aus östlichen Richtungen. Möglicher- weise handelt es sich hier um ein Äquivalent der unteren Sandsteinbank, auf die die in der Literatur (BISEWSKI 1982) beschriebene Sedimentation der Mut-Formation folgt.

Dünnschliff:

Im Dünnschliff zeigt sich der untere Sandstein in der Regel sehr schlecht sortiert, die Quarzkörner mit Durchmessern von 0,3 mm bis 0,8 mm sind angular bis subangular. Primäres Bindemittel ist wie bei den Taref-Sandsteinen der Kaolinit, aller- dings reagiert das Gestein widerstandsfähiger auf die Erosivkräfte.

Fossilinhalt:

Ablagerungsmilieu:

Die Ablagerung der unteren Sandsteinbank muss als fluviatil angesehen werden, jedoch in verstärk- tem Maße in küstennahen Bereichen. Auf geringen Distanzen wechseln die Schüttungsrichtungen von SSE über E auf NNE.

2.2.2 Mut Shale

Die Shale-Einheit der Mut-Formation bildet auf- grund ihrer Verwitterungsanfälligkeit meist Ebenen,

denen vereinzelt kleine, stark gerundete Hügelchen aufgesetzt sind. Profile können daher nicht voll- ständig sein und sind auf Erhebungen mit härteren Toplagen (obere Sandsteinbank) beschränkt.

Profilbeschreibung:

Der mittlere Teil der Mut-Formation besteht im Bearbeitungsgebiet aus einer eintönigen Serie von roten, grünen und z.T. buntgescheckten Silt- bis Tonsteinen, die den oberen Stauhohizont für Was- ser tieferer Speicherhorizonte bilden.

In Profilen konnten ca. 35 m der genannten Se- rie aufgenommen werden, durch Auswertung von Bohrungen schätzt man sie jedoch auf maximal 100 m (KLITZSCH 1978).

Zum Hangenden hin nimmt der Sandanteil zu und die Shales gehen in eine Wechselfolge von Feinsand- und Siltsteinbänken, oder in einen schräggeschich- teten Sandstein über.

Im oberen Teil der Shale-Serie wurden bunte, wach- sige, z.T. Blättrige Silt- und Tonsteine beobachtet. Die Farben reichen vom Schwarz über Rot, Grün bis zum Gelb. Zahlreiche Gipsbänder in unter- schiedlicher Mächtigkeit und Anordnung durch- ziehen das Gestein. Vertikale Strukturen bis zu 10 cm Länge deuten auf mögliche Wurzelstätigkeit.

Dünnschliff:



Abb. 4: Obere Partie des Mut-Shale, 10 km südwestlich El-Gedida

Im Dünnschliff ist eine feine Bänderung (3 mm bis 5 mm) von quarzreichen und tonigen Lagen erkennbar. Die mehr subangularen als gerundeten Quarzkörner sind schlecht sortiert und werden durch Tonminerale (Serizit, Montmorillonit) gebunden. Der Feldspatanteil wechselt, ist aber meist sehr gering.

Die tonigen Lagen sind durch Anteile von Erz (Hämatit, Limonit), Chloriten und dispers verteiltem organischem Material unterschiedlich gefärbt. Der Anteil von Gips ist sehr hoch.

Fossilinhalt:

Während Hermina et al. (1961) keinen Fossilinhalt konstatierten, beschreibt BISEWSKI (1982) für einige 0,1 m mächtige Siltsteinbänke zahlreiche Pflanzenreste.

Ablagerungsmilieu:

Die Ablagerungen des Mut-Shale sind vorwiegend marin, jedoch nimmt der marine Charakter nach Westen ab (Bisewski 1982). Aufgrund der fehlenden Fossilien kann man für das Bearbeitungsgebiet brackische bis begrenzt marine Bedingungen annehmen, dies wird durch Vorkommen von Glaukonit in höheren Bereichen bestätigt (BARTHEL & HERRMANN-DEGEN 1981).

2.2.3 Oberer Sandstein

Profilbeschreibung:

Im mittleren Teil des Bearbeitungsgebietes liegt der Phosphatkante die obere Sandsteinbank in Form eines harten, weißlichen Sandsteins von ca. 20 m Mächtigkeit vor. Sie besteht aus 0,4 m bis 0,5 m mächtigen Schrägschüttungskörpern mit Transportrichtungen vorwiegend aus NE. Der Sandstein weist mittlere bis feine Korngrößen auf und ist schlecht sortiert. Die oberen Partien bestehen aus plattigem Mittelsandstein.

Südwestlich von El-Qalamun und südlich von El-Gedida tritt die Sandsteinbank als 10 m mächtige Wechselfolge von dünnen Sandsteinlagen und dickeren Shale-Paketen auf. Das oberste Sandsteinband ist etwas dicker und führt zur Bildung einer Geländekante, auf die eine 35 m mächtige Shale-Geröllhalde mit vereinzelt Phosphatbändern folgt.

In einem Profil westlich der Fesh-Fesh-Pfanne zeigt sich die kartierte Bank als plattiger bis schrägschichteter Mittelsandstein. Die Schrägschüttungskörper übersteigen selten eine Mächtigkeit von 0,3 m, sie sind hellgrünlich, ockerfarben und z.T. dunkel anwitternd.

Auf diesen Sandstein von 0,8 m folgt eine 3,0 m mächtige Wechsellagerung von Feinsandsteinen und siltigen Zwischenlagen, die zum Hangenden hin wiederum eine Geländekante bildet.

Einzelne Hügel am östlichen Rand der Fesh-Fesh-Pfanne sind mit einer Übergangszone von Silt- zu Feinsandsteinmaterial und mit einer vor der Erosion schützenden hellen Sandsteinbank, die rötlich anwittert, bedeckt. Insgesamt erreicht die Bedeckung eine Mächtigkeit von 5 m.

Nordöstlich der Mut-Oase folgt auf die bunten Shales der Mut-Formation eine 1,2 m mächtige Wechsellagerung von weiß-grünlichen Mittelsandsteinen (Schichtung nicht erkennbar) und grünlichen, blättrigen Feinsandsteinen. Den Abschluß bildet ein Meter Mittelsandstein. Es kommt nicht zur Ausbildung einer morphologischen Kante, da Lockermaterialien aus dem Hang- und Plateaubereich das vorhandene Relief zudecken.

Dünnschliff:

Der Dünnschliff einer Probe, die aus dem westlichen Randgebiet der Fesh-Fesh-Pfanne stammt, zeigt Quarzkörner von 0,1 bis 0,3 mm Größe als Hauptgemengeteil. Sie sind gerundet bis subangular, z.T. weisen sie auch längliche Formen auf, viele Rutilnadelchen sowie Flüssigkeits- oder Gaseinschlüsse können beobachtet werden. Der Feldspatanteil ist gering, akzessorisch treten Turmaline auf. Das Bindemittel besteht hauptsächlich aus Karbonat mit fein verteiltem Hämatit und Limonit.

Fossilinhalt:

Dunkle Pflanzenreste und silifizierte Holzteile (HERMINA et al. 1961).

Ablagerungsmilieu:

HERMINA et al. (1961) beschreiben für die Sedimentation des obersten Teils der Nubian Formation küstennahe, fluviomarine Bedingungen. Die schrägschütteten Sandsteinkörper bestätigen

diese Annahme, für die weniger mächtigen, plattigen Feinsande und die Siltsteinlagen gelten jedoch verstärkt marine Bedingungen.



Abb. 5: Phosphatbeds nördlich El-Qasr
Deutlich sind die herausgewitterten Phosphoritlagen zu erkennen. Im mittleren Bildausschnitt schließt die nach N einfallende Toplage die Phosphat-Serie ab. Auf der Fläche zwischen der Phosphatstufe und dem Steilhang sind Hügel aus Dakhla Shale und Senken mit Mud Lions erkennbar.

2.3 Dakhla-Formation

2.3.1 Phosphat-Serie

Die Phosphat-Serie mit ihrer Wechselfolge von dickeren Shale-Paketen und dünnen phosphathaltigen Lagen zeigt im Landschaftsbild einen eher weichen Charakter. Wenn sie nicht von der harten Toplage geschützt wird, bildet sie Flächen mit kleinen rundlichen Erhöhungen, die die 5 m-Grenze selten überschreiten, und an den flachen Hängen die dünnen Phosphatbänder austreten. Ideale Aufschlüsse finden sich vor allem unmittelbar unterhalb der Geländekante, die von der Toplage gebildet wird. Da sich die Ablagerungsbedingungen auf relativ kleinem Raum stark änderten, lassen sich die in verschiedenen Bereichen aufgenommenen Profile nur in Großzügen parallelisieren.

Profilbeschreibung:

Im zentralen Bereich, 500 m westlich von Ezbet el-Uweina, stellt sich die Phosphat-Serie weitgehend in der gleichen Abfolge dar, wie sie durch BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) beschrieben wurde. Der obere Sandstein der

Mut-Formation wird von 17 m grau-grünem Shale überlagert. Darauf folgen 4 m Shale- und Karbonatlagen, die morphologisch hervortreten. Letztere keilen nach Osten aus.

Sechs km südwestlich von El-Qalamun wächst die Mächtigkeit der unteren Shale-Sektion auf 35 m, in deren oberem Teil treten mindestens zwei Phosphatbänke auf. Den Abschluß bildet ein 2 m mächtiger Karbonat-Aufarbeitungshorizont mit zahlreichen Wickelstrukturen (convolute bedding). Im Gegensatz zu der beschriebenen (siehe unten) Austerbank ist der brekziöse Anteil sehr groß. Da neben vielen biogenen Resten und Phosphatkörnern auch zahlreiche Austersteinkerne vertreten sind, ist die Vermutung, dass es sich um ein Äquivalent der Austerbank handeln könnte, nicht unberechtigt.

Das Profil westlich der Fesh-Fesh-Pfanne zeigt ein ähnliches Bild wie die Schichtfolge westlich von El-Uweina. Auch hier wird die Phosphat-Serie von 15 Metern Shale eingeleitet, auf die zwei, durch ein dünnes Shaleband getrennte Kalksteinbänke mit Austersteinkernen folgen. Die Mächtigkeit dieser Partie beträgt jedoch nur noch 1,7 m. Südöstlich des Gebel Edmonstone fehlt sie ganz.

In der Regel folgt auf die Austerbank die eigentliche Wechsellagerung von Shale- und Phosphatbeds. Aber auch diese Serie erweist sich in den verschiedenen Profilen als recht unterschiedlich, so dass eine Korrelation einzelner Bänder nicht möglich ist. Während bei El-Uweina fünf 0,1 m bis 0,4 m betragende Phosphatbänder beobachtet wurden, sind es im Hochtal, 14 km östlich von Bir el-Denaria, fünf meist 0,3 m mächtige Bänder.

Nordöstlich der Mut-Oase sind es ebenfalls fünf phosphatische Lagen, aber die Mächtigkeit schwankt zwischen 0,2 und 1,8 m. Die Mächtigkeit der Shale-Zwischenlagen nimmt ab. In dem Profil, 4 km südlich der Oasen um El-Gedida, sind zwei Phosphatbänder unterhalb des Aufarbeitungshorizontes zu verzeichnen. Allerdings erschwert der reichlich vertretene Shale-Schutt die Schichtaufnahme, und es ist nicht auszuschließen, dass sich im Hangbereich noch mehrere dünne Lagen verborgen. Wenn die konglomeratisch bis brekziöse Toplage wirklich ein Äquivalent der Austerbank ist, müssen auch oberhalb noch phosphatische Lagen vermutet werden.



Abb. 6: Phosphoritkante südöstlich des Gebel Edmonstone. In der rechten Bildhälfte sind die Phosphoritbänder erkennbar. Unmittelbar unter der Toplage ist der Shale durch 1 m bis 3 m beigefarbenen Kalkstein ersetzt. Auf der nach N einfallenden Fläche der Toplage leuchten weiße Chalk-Flecken (Bildhintergrund).

Westlich der Fesh-Fesh-Pfanne befinden sich zwischen der Austernbank und der Toplage der Phosphat-Serie vier Phosphatbeds, die in ihrem vertikalen Umfang zwischen 0,2 m und 0,7 m variieren. Die Shale-Zwischenschaltungen schwanken zwischen 1,5 m und 6,0 m. An der Stufe südlich des Gebel Edmonstone wurden maximal acht und mindestens drei phosphatische Lagen beobachtet. Die Phosphat-Serie schließt an einigen Stellen (Hochtal östlich von Bir el-Denaria, Ringkante südlich Gebel Edmonstone) mit ein bis drei Metern beigefarbenen sandigen Kalksteinen ab (Abb. 6).

Die Phosphatbeds wechseln stark in ihrem Aussehen. Während bei einigen, vorwiegend im oberen Bereich liegende, das Bindemittel (meist gelbliches Karbonat) dominiert, sind die meisten konglomeratisch bis brekziös und mit einer Vielzahl von biogenen Resten ausgebildet. Die meist dunkelbraunen bis dunkelgrauen klastischen Fragmente besitzen Korngrößen, die zwischen Grobsand und Mittelkiesfraktion wechseln. Der überwiegende Teil bewegt sich mit Durchmessern von ein bis drei mm im Bereich des Feinkies.

Die Gesteine sind sehr schlecht sortiert, eine Schichtung oder Laminierung ist nicht erkennbar. Manchmal jedoch ist der Basiskontakt zum unteren Shale brekziös ausgebildet, was auf ein dramatisches Ereignis zu Beginn der Ablagerung schließen lässt.

Die Mächtigkeit der gesamten Phosphat-Serie unterliegt starken Schwankungen. Östlich von Mut beträgt sie 20 m, weiter nach Osten ist sie nicht mehr im Luftbild zu verfolgen, sie zieht sich auf den unteren Teil der eigentlichen Steilkante zurück. Westlich von El-Uweina stehen knappe 40 m der Serie an. Westlich der Fesh-Fesh-Pfanne beträgt die vertikale Ausdehnung der Serie 32 m, 13 km nordöstlich an der Ringstufe jedoch nur noch 23 m. Im Hochtal, östlich Bir el-Dinaria sind es gar nur noch 10 m. Die Serie schließt nach oben mit Kanalfüllungen ab. Die Sedimentation in ein bestehendes Relief setzt sich bis zur Ablagerung der Dakhla-Chalks fort.

Dünnschliff:

Die Austernbank zeigt sich als sehr dichtes, feinkörniges Gestein, in dem neben den rhomboedrischen Dolomitkristallen die vielen biogenen, nicht phosphorisierten Reste auffallen. In Hohlräumen haben sich Calcit und Tonminerale rekristallisiert. Sporadisch treten Quarzkörner und diagenetische Phosphorit-Pebbles auf.

Der Aufarbeitungshorizont, südlich von El-Gedida, zeigt bei gekreuzten Nicols die grobe Calcitgrundmasse, die eindrucksvoll von Knochenteilen mit büscheliger Auslöschung und isotropem Phosphorit durchsetzt ist (Abb. 7 und 8).

Die dünnen Phosphatlagen sind sehr unterschiedliche ausgebildet. Die Korngrößen schwanken zwischen Mittelsand- und Feinkiesfraktion. Drei typische Gemengteile sind zu unterscheiden (siehe Abbildungsteil im Anschluß):

- Knochen- und Schalenschutt (eckig, spitz)
- Pellets und Koprolithen
- Lithoklasten (meist angular bis subangular)

Die Knochenteile sind im Hellfeld weiß, gelblich bis hellbraun, bei X-Nicols zeichnen sie büschelige Auslöschung.

Neben den zahlreichen Splittern treten auch Fischwirbel (Abb. 11), gut erhaltene Zähne (Abb. 13, 14) und Schalenteile (Abb. 16) auf.

Die Pellets oder Koprolithen sind im Hellfeld dunkelbraun, bei X-Nicols sind sie isotrop. Sie fallen durch ihre runde, z.T. ovale Form auf. Es handelt sich dabei um Verdauungsprodukte unbekannter mariner Organismen. Der Durchmesser kann 1

mm erreichen. Unter den Lithoklasten sind Reste des aufgearbeiteten Sediments zu verstehen, durch diagenetische Prozesse sind sie jedoch stark verändert. Z.T. sind Quarzbruchstücke und Feldspäte erkennbar. Ebenso wie die jeweiligen Anteile der Gemengteile ist die Matrix starken Schwankungen unterworfen.

Die Proben weisen folgende Grundmassen auf (siehe Abbildungsteil im Anschluß):

- karbonatische (dolomitisch)
- silikatische (calcedonisch)
- sulfatisch

Die karbonatisch-dolomitische Grundmasse ist am häufigsten vertreten.

Fossilinhalt (siehe Abbildungsteil im Anschluß):

- Zähne, Knochen, Schuppen (Fische, Reptilien)
- Schalen
- Schwammnadeln
- Koprolithen

In einzelnen Karbonatlagen im unteren Bereich der Phosphat-Serie dominieren Austernsteinkerne (Trionoarca) – (BEERBAUM 1977, BUSHINSKII 1966, GARRISON et al. 1979, MCKELVEY 1969, YOUSSEF 1965).

Ablagerungsmilieu:

Die phosphatischen Konglomerate sind Produkte einer Wiederaufbereitung primärer Phosphat-Anreicherungen.

Die Bildung von Phosphaten ist an Regionen (meist Küsten) mit Sauerstoffdefizit-Wässern gebunden, wo Skellettapatite (Fischreste) in organogenen Schlämmen angereichert werden. Zudem gibt es auf dem Meeresboden Bereiche (Ränder einer sauerstoffarmen Zone), wo sich diagenetisches Apatit in Porenwässern abscheidet und ehemalige Bodensedimente ersetzt (GARRISON et al. 1979).

Einem Modell für die Konzentrierung von diagenetischem und Skelettphosphaten zur Folge (BATURIN 1971) bewirkt ein Sinken des Meeresspiegels mit einer Erhöhung der Wasserenergie in Form von Gezeitenströmen (high energy regime) die Sortierung der Matrix. Dadurch reichern sich die sand- bis kiesgroßen Phosphatkörner an, wobei sie aber auch geringe Transportwege zurücklegen können. Für die Bildung der in der Abu Tartur-Mine

abgebauten Phosphate wird eine Ablagerung der Phosphatkörner in Sandsteinriegeln angenommen, die durch Gezeitenströme gebildet wurden (GARRISON 1979).

Ein Wiederanstieg des Meeresspiegels bewirkt die Ablagerung des Shales (low energy regime) und die gleichzeitige erneute Bildung von diagenetischen und Skelettapatiten (BATURIN 1971).

Für die Bildung der Phosphat-Serie muss also eine litoral bis neritische Umgebung angenommen werden. Durch einige Meeresspiegelschwankungen kam es zur Anreicherung der Phosphate. Die welligen Oberflächen der Austernbänke können auf die Gezeitenströme zurückgeführt werden. Die Shale-Zwischenlagen deuten auf wiederholten Meeresspiegelanstieg mit ruhigen Ablagerungsbedingungen hin.

2.3.2 Toplage der Phosphat-Serie

Die Toplage der Phosphat-Serie bildet in der Dakhla-Region eine markante Stufe, die mit einer Fallhöhe von fast 40 m dem Steilhang der Hauptstufe vorgelagert ist. Dem harten Deckmaterial ist die relativ gute Erhaltung der Phosphat-Serie zu verdanken.

Profilbeschreibung:

Westlich des großen Dünenstreifens treten flächenhafte rötliche, z.T. schräggeschichtete Siltsteine auf, die mit den weißen Kalken von Barthel & Herrmann-Degen (1981) in das „Qur el-Malik Member“ gestellt werden. Südöstlich des Gebel Edmonstone wird die Phosphat-Serie von ein bis zwei, jeweils bis zu einem halben Meter mächtigen rötlich-braunen Kalken bedeckt. Der biogene Anteil ist etwas höher, es konnte aber kein Phosphatanteil nachgewiesen werden.

Im Hochtal östlich von Bir el-Denaria tritt die Toplage als 0,8 m bis 1,0 m mächtiger feinkörniger, ebenfalls sehr dichter Kalk auf.

Im südlichen Verbreitungsgebiet (südlich der Oasen um El-Gedida) wird die kalkige Toplage von einem grünlichen Sandstein, ebenfalls mit Skelett-Teilen und Phosphoritkörnern ersetzt, die vertikale Ausdehnung beträgt ein bis zwei Meter.

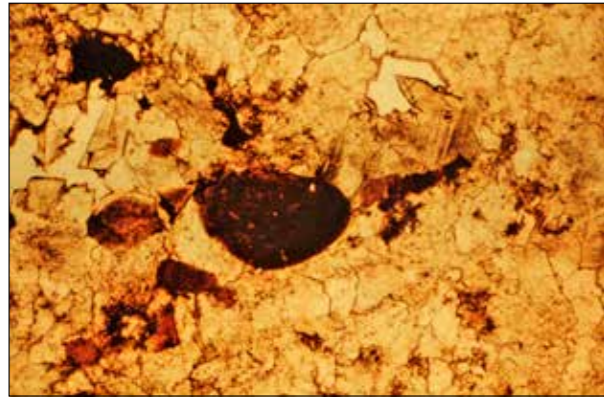


Abb. 7: Phosphat-Pellet in karbonatischer Grundmasse, Hellfeld, 40-fach

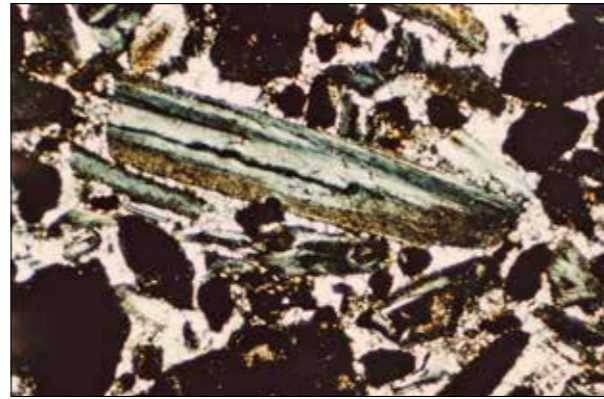


Abb. 10: Kieselschwammnadel (mit Zentralkanal) in silikatischer, z.T. calcedonischer (gelblich) Grundmasse; außerdem isotrope Pellets und grau-undulös auslöschende Knochenteile, X-Nicols, 40-fach

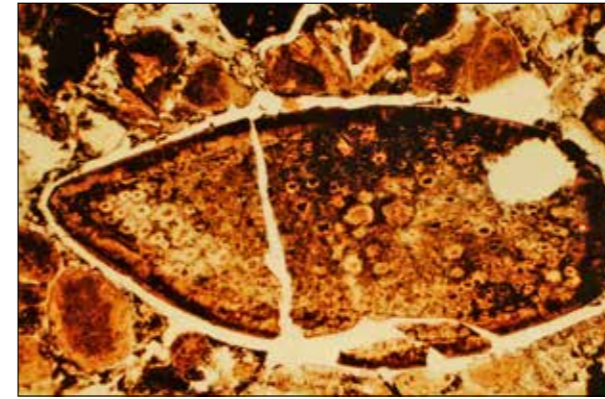


Abb. 13: Zahn mit Dentin-Kanälen, Hellfeld, 40-fach

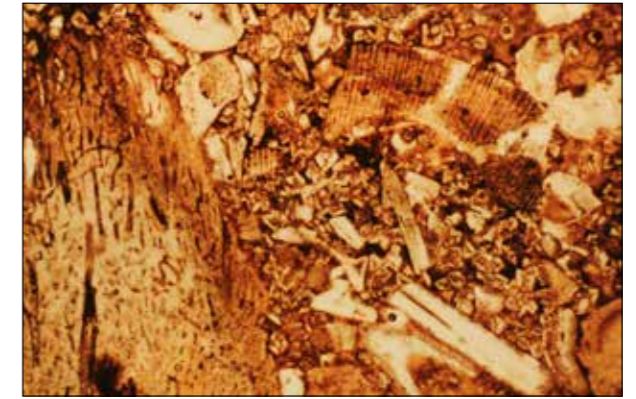


Abb. 16: Konglomeratischer Phosphorit mit Knochenschutt (mit Bohralgentätigkeit), Zähnen und Schalenresten. Die Grundmasse besteht aus zonaren Dolomit-Rhomboedern, Hellfeld, 40-fach

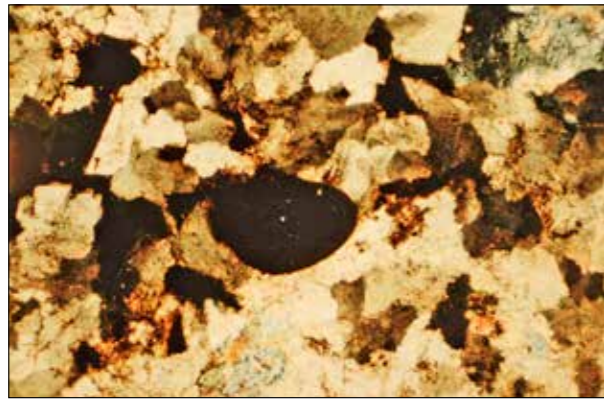


Abb. 8: Phosphat-Pellet in karbonatischer Grundmasse, X-Nicols, 40-fach

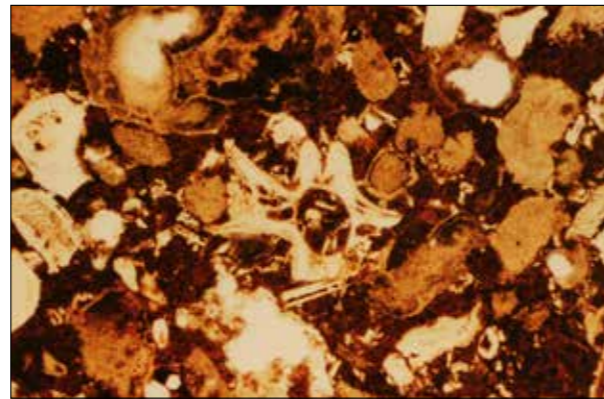


Abb. 11: Fischwirbel in dolomitischem Zement, andere Knochenteile (linker Bildrand) sind z.T. durch Bohralgen verändert, Hellfeld, 40-fach

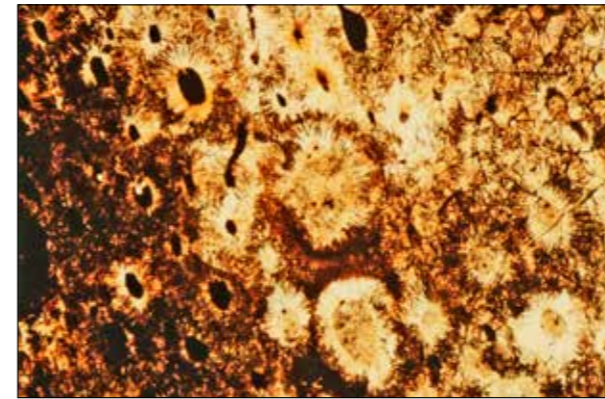


Abb. 14: Dentin-Kanälchen, Hellfeld, 160-fach

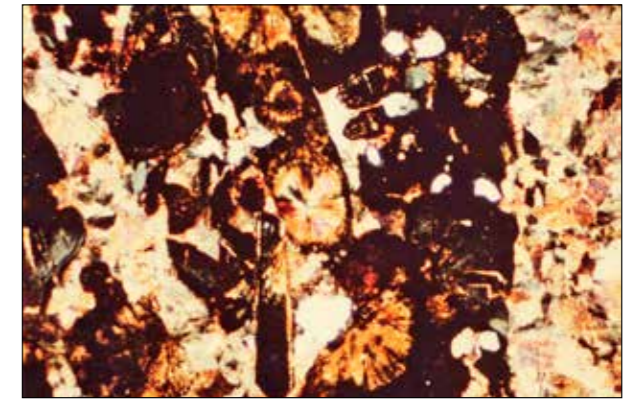


Abb. 17: Sulfatischer Phosphorit mit Knochensplittern, isotropen Phosphat-Pebbles, in Sulfat-Sonnen umgewandelte Kotpillen und Quarz-Detritus. Der Zement ist sulfatisch (Gipsschnüre), X-Nicols, 40-fach

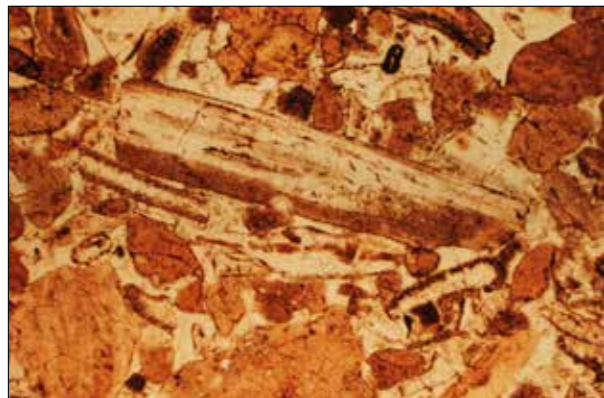


Abb. 9: Kieselschwammnadel in silikatischem Bindemittel, Hellfeld, 40-fach

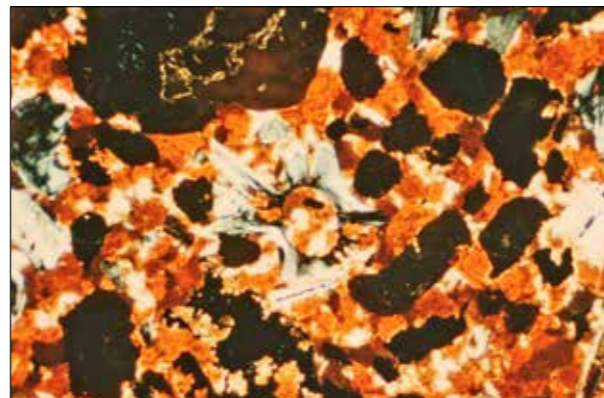


Abb. 12: Phosphorit mit Knochenschutt (grau-undulös), Pellets (isotrop-rundlich) und Lithoklasten (eckig, flaserig). Der Zement besteht aus zonar gebauten Dolomiten (gelb-braun), X-Nicols, 40-fach

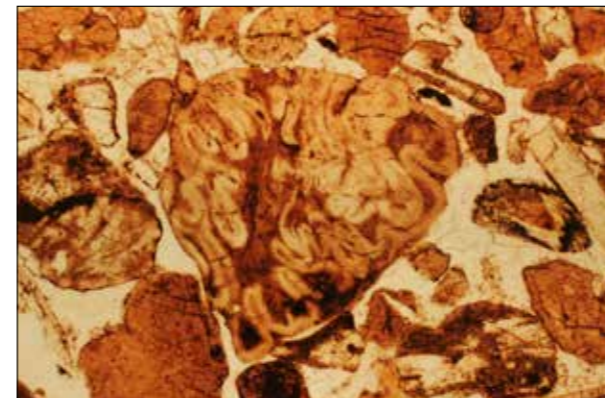


Abb. 15: Phosphorit mit Knochenschutt, Koprolithen und Lithoklasten (mit „Darmperistaltik“) in calcedonischer Matrix, Hellfeld, 40-fach

Während im südlichen Raum die Phosphat-Serie nur von einem harten Band bedeckt wird, werden südlich des Gebel Edmonstone mindestens zwei rötliche Kalkbänder von ca. 1 m weißem Chalk getrennt.

Im Bereich der Oase von Ezbet el-Sheikh Saber el-Mawhub erhöht sich die Anzahl der Bänder auf drei, und die Mächtigkeit der Chalk-Zwischenlagen steigt auf 2 m bis 2,5 m.

Dünnschliff:

Ein Dünnschliff des flächenhaften Materials westlich des großen Dünenstreifens, zeigt einen dichten, groben, gleichkörnigen Kalk mit relativ hohem Hämatitanteil. Nur vereinzelt sind organogene Reste oder diagenetische Phosphorit-Pebbles zu erkennen. Die calcitische Grundmasse einer Probe aus dem Hochtal, 12 km östlich von Bir el-Dinaria, fällt durch den hohen Anteil dispers verteilten Phosphats (ca. 30%) auf. Nur vereinzelt treten Quarzkörner oder organogene Fluorapatite mit büscheliger Auslöschung auf.

Der grünliche Sandstein des südlichen Verbreitungsgebietes weist einige Pellets und Skelett-Teile neben Quarzkörnern in einer dolomitisch-sulfatischen Grundmasse auf. Die grünliche Färbung wird durch Chlorite verursacht.

Fossilinhalt:

vereinzelt Knochen- und Schalenreste, Pellets.



Abb. 18: Lateraler Wechsel von Chalk (weiß) und Phosphat-Seifen (dunkel-schwarz), 15 km nordwestlich des Gebel Edmonstone

Ablagerungsmilieu:

Für die Ablagerung der Toplage in ein bestehendes Relief von kanalartigen Rinnen muss ein küstennaher Bereich angenommen werden, der von Gezeitenströmen geprägt wurde.

2.3.3 Dakhla Chalk

Profilbeschreibung:

Der Chalk tritt meist nur an vor der Erosion geschützten Lagen als kleine Flecken auf. Die zwei oder drei 0,5 m bis 2,0 m mächtigen weißen bis beigefarbenen Schichtteile sind linsenartig ausgebildet und lassen sich nicht über größere Strecken verfolgen.

Der Chalk ist z.T. massig, wie auch plattig bis blättrig ausgebildet. Häufig ist er mit kleinen braunen, phosphatischen Partikeln durchsetzt. In der Regel wird die Chalk-Folge nach oben durch einen rötlichen Kalkstein abgeschlossen, auf den die Shale-Folge der Dakhla-Formation folgt. Das Profil südöstlich des Gebel Edmonstone zeigt jedoch einen allmählichen Übergang zu den Shales. Der Chalk wird zunehmend siltig und wird durch ein 0,4 m mächtiges Mergelband von den an der Basis noch mergeligen Shales getrennt.

Dünnschliff:

Im Dünnschliff erweist sich der Chalk als sehr feinkörniger, äußerst dichter, reiner Kalk, der zahlreiche Mikrofossilien beinhaltet. Der Phosphat-Anteil wechselt; während Proben der westlichen Bereiche



Abb. 19: Heller Chalk wird von einem rötlich-braunen Siltsteinband überlagert. In der linken Bildhälfte verdecken junge Seebodenrelikte den Aufschluss.

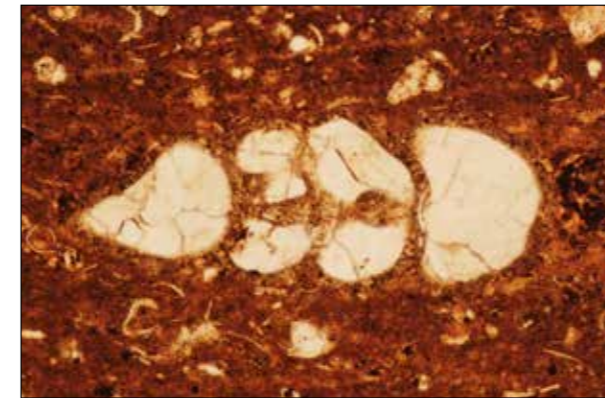


Abb. 20: Lituoline Foraminifere, Hellfeld, 160-fach

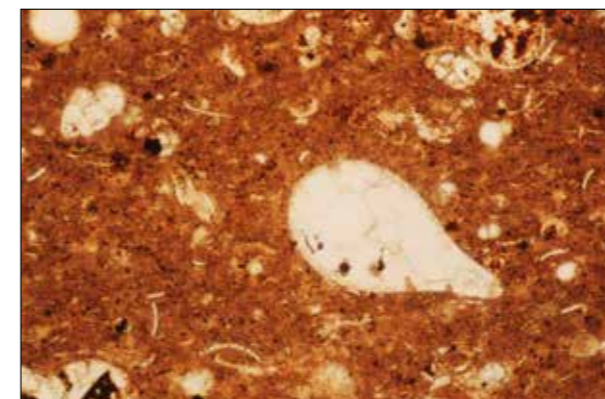


Abb. 21: Fruchtkörper in Biomikrit, Hellfeld, 160-fach

keinen bis fein verteilten Phosphat aufweisen, sind in Proben der östlichen Bereiche z.T. bis zu 1 mm große Pebbles enthalten.

Fossilinhalt:

Lituolide Foraminiferen
Globotruncanen (marin-planktonisch)
Gastropoden
Fruchtkörper (Brackwasserbereich)

Ablagerungsmilieu:

Als Ablagerungsgebiet muss ein küstennahes Gebiet (neritisch), das durch eine Barriere vom offenen Meer getrennt war, angenommen werden. Sowohl die Kalke, als auch die Siltsteine sind rinnenartig abgelagert worden, was noch immer auf die Wirkung von Gezeitenströmungen schließen lässt.

2.3.4 Dakhla Shale

Die Dakhla Shales sind vorwiegend am Steilhang nördlich der Oasen vertreten. Das bereits intensiv zerfurchte Material wird durch den Tarawan-Kalk und durch die Kalkkonglomerate, die von der Höhe des Plateaus auf dem relativ weichen Shale zum Fuße des Hanges „kriechen“, geschützt. An der südöstlichen Flanke der Budkhulu-Antikline und westlich des großen Dünenstreifens bilden die Shales Ebenen, die aufgrund ihres weichen Charakters schlecht zu befahren sind.

Profilbeschreibung:

Die Basis der Einheit wird von 40 m bis 60 m grau-grünen bis schwarzen Tönen gebildet, die von roten siltigen Zwischenlagen mit Eisenkonkretionen unterbrochen werden. Zum Teil treten auch bis zu 3 m mächtige kalkige Siltsteinpakete auf. Sie zeigen grünlich-gelbliche Farben und sind sehr spröde und brüchig. Zum Teil nehmen sie „Mud“-Charakter an.

Auf einer Höhe von 290 m über NN (40 m über Basis) tauchen zwei Meter grünlich-gelblicher Feinsandstein mit vielen Fossilien und Lebensspuren auf. Darüber folgt eine 35 m-Wechselfolge grau-grüner Shales mit Feinsandsteinlagen, 3 m gelblicher Siltstein und wiederum 7 m Shale.

Über einem 0,3 m dicken, harten, braunroten Tonband liegt eine 3,4 m mächtige harte karbonatische Bank. Unter dem hohen Biogen-Anteil sind Funde von rötlichen Austern und ooidischen Phosphoriten (Abb. 22) bemerkenswert. Gelbe Schwefelkonkretionen mit Durchmessern bis zu 30 cm sind unregelmäßig im Gesteinsverband verteilt. Nach einem Meter rötlicher Shales folgt eine weitere 2,4 m mächtige harte Karbonatbank, die zum Hangenden in einen plattigen Feinsandstein übergeht. Auch diese Bank zeigt zahlreiche biogene Reste. Über diesem Horizont liegt eine ca. 110 m mächtige Shale-Siltstein-Wechselfolge. An deren Basis sind die siltigen Sandsteine glaukonitisch ausgebildet, sie besitzen große Mengen Biogenmaterials. In einer Höhe von 460 m über NN (210 m über Basis des Profils) tritt eine 1,1 m mächtige gelb-rötliche sandige Kalkbank auf. Der Quarzanteil ist schlecht sortiert, die Korngrößen erreichen die

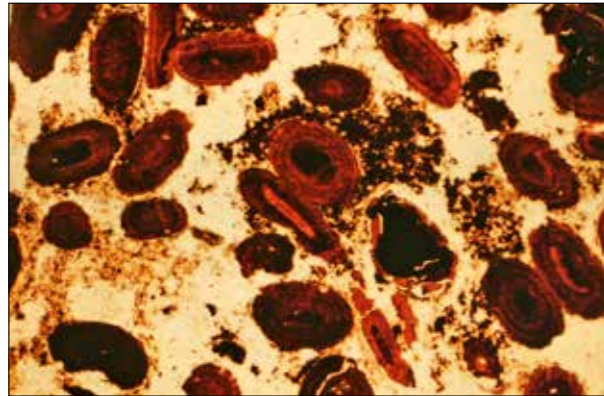


Abb. 22: Phosphat-Ooide, Hellfeld, 40-fach

Mittel- bis Grobsandfraktion. Zahlreiche Biogen-teile sind erkennbar. Die mittlere Partie ist horizontal geschichtet.

Ein gelblicher, sehr dichter, feinkörniger Kalk, zwei weitere Shale-Bänder und ein dichter Kalk mit Phosphorit-Anteilen bilden den Übergang zum Kalk der Tarawan-Formation.

In einem Profil nordöstlich der Mut-Oase konnten die unteren 22 m des Dakhla Shales aufgenommen werden. Der Shale ist hier blättrig ausgebildet und ebenfalls von grau-grüner Farbe.

Ein Meter grünlich-grauer, harter Siltstein bildet einen morphologischen Absatz, auf den 15 m Shale folgt. Diese Partie ist z.T. mit Mergel und mit braunen Karbonat-Bändern ausgestattet. Bemerkenswert sind rötlich, gelblich bis weiß gefärbte Tonkugeln, die in die Bänderung eingeschlossen sind und von den Shale-Blättchen „umflossen“ werden. Es handelt sich hierbei um Aufarbeitungsprodukte aus dem Gezeitenbereich, die in tieferes Milieu transportiert wurden. Außerdem ist der Shale im oberen Teil in Spaltflächen und -bändern mit einem braunen Grobsandstein mit Kiesfraktion durchsetzt. Dieser Sandstein erinnert sehr an die Phosphatbeds.

Den Top des Profils bildet ein junges, ein Meter mächtiges Schotterkonglomerat, das aus dem Plateaubereich der Tarawan-Formation stammt und bis zu Fuß des Hanges transportiert wurde.

Fossilinhalt:

Mergelige Bänder der Basis: heteromorpho Ammonitenfauna (BARTHEL & HERRMANN-DEGEN 1981)

Braune Siltbänder: *Exogyra overwegi*
Zwei Karbonatbänke im mittleren Teil:
Cardita libyca, *Libyoceras* (BARTHEL & HERRMANN-DEGEN 1981)

Ablagerungsmilieu:
marin

2.4 Tarawan-Formation

Die Tarawan-Formation tritt in recht unterschiedlicher lithologischer Zusammensetzung auf. Im Westen des Bearbeitungsgebietes dominieren helle Kalke, im Osten treten auch Shale-Zwischenlagen auf. Der Deckel des Budkhulu Promontories wird von dolomitischen Kalken gebildet. Die Oberfläche zweigt oft eine weiße zellenartige Struktur, die durch in Klüften wandernde kalkreiche Lösungen mit oberflächiger Kalkausscheidung gebildet wird.

Dünnschliff:

Sie zeigen einen reinen, sehr dichten, grobkörnigen Kalk mit hohem Anteil von Biomasse.

2.5 Quartäre Ablagerungen

Unter den quartären Ablagerungen der Dakhla-Region sind vor allem die Kalk-Konglomerate und die Seebodenrelikte zu erwähnen.

Die Kalk-Konglomerate bestehen zum größten Teil aus wenig gerundetem Plateau-Material, das mit Korndurchmessern von über 6,5 cm die Steinfraktion erreicht. Das Bindemittel besteht aus sandigem Mergel, es bewirkt eine beachtliche Härte. Die Mächtigkeit dieser flachen Pakete wechselt von 0,5 m bis über 3,5 m.

Die Seebodenrelikte sind vor allem westlich des großen Dünenstreifens als weite Ebenen vertreten, die von lateral wechselnden Chalk-Flecken und Phosphatseifen unterbrochen werden. Östlich des Gebel Edmonstone sind die quartären limnischen Sedimente besonders in kleinen Senken unterhalb des Shale-Hanges vertreten. „Mud Lions“ bestehen aus ursprünglich feinen Shale-Material, der Gipsanteil ist jedoch geringer.



Abb. 23: „Mud Lions“ nordwestlich von Bir el-Denaria

2.6 Profile

(Bemerkung der Autorin: die folgenden Profile sind Originalzeichnungen aus 1983, sie wurden lediglich z.T. eingefärbt, damit die Zuordnung zu den Formationen leichter fällt. Die Farben entsprechen den Farben der geologischen Karte)

DIN 4188 (1957) nach: Geologisches Wörterbuch (1977)			Ansprache im Gelände	Darstellung in Profilen
		mm		
Stein	Stein	> 63		
	Grobkies	63 - 20		
	Mittelkies	20 - 6,3		
Kies	Feinkies	6,3 - 2,0		o o o
	Grobsand	2,0 - 0,63	Korn deutlich erkennbar	* * *
	Mittelsand	0,63 - 0,2	Korn mit bloßem Auge noch sichtbar	• • •
Sand	Feinsand	0,2 - 0,063	Korn unter Lupe sichtbar	•••••
	Schluff (Silt)	0,063 - 0,002	Korn unter Lupe nicht sichtbar; Knirschen bei Mundprobe	— — —
Ton	Ton	< 0,002	Kein Knirschen bei Mundprobe; fühlt sich fettig an	— — —
				▨ Karbonat
				◉ Fossilfunde
				▨ Phosphatbeds

Abb. 24: Korngrößen der klastischen Gesteine

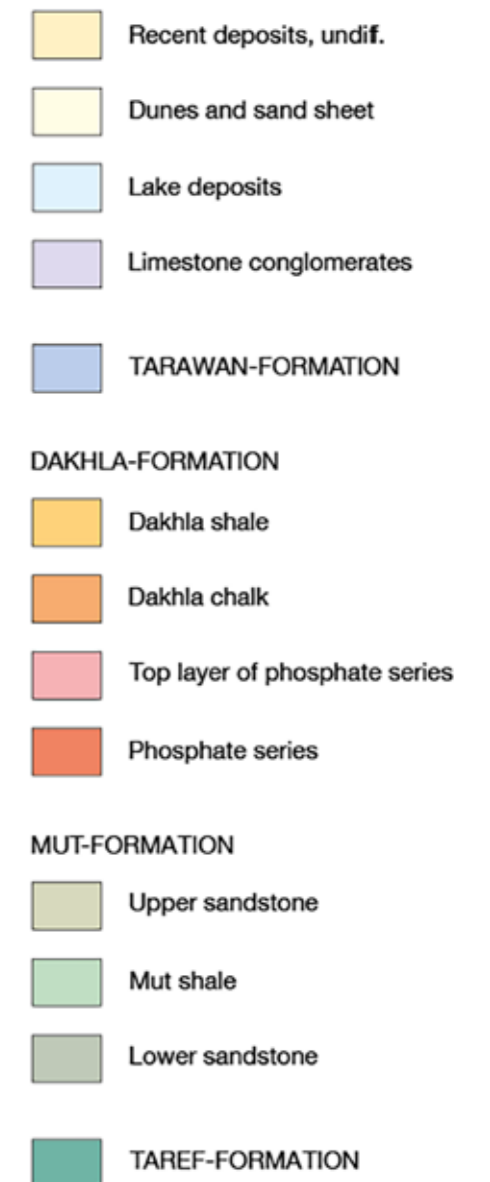
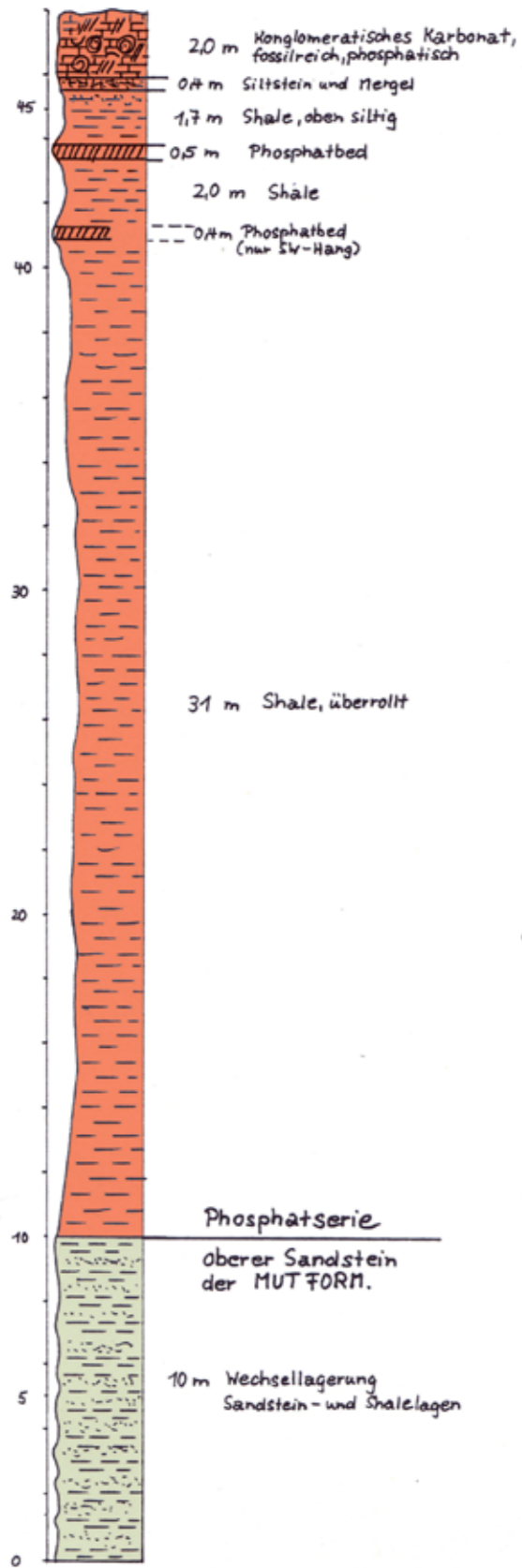


Abb. 24b: Farblgende für die folgenden Profile
Screenshot aus der Karte:
List, B., Meissner, B., Ripke, U. (Ed.) (1997): A. R. Egypt 1 : 100 000, sheet Mut (Dakhla Oasis) – Geology.– TFH Berlin

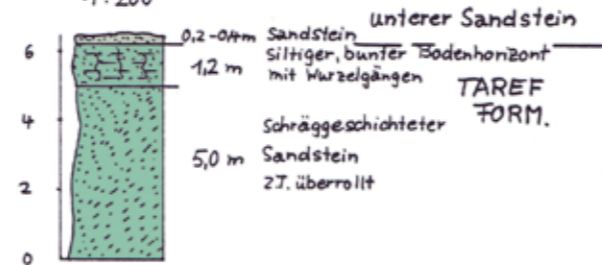
Profil: oberer Sandstein bis Phosphatserie
(4 km südl. EL-Gedida)

1:200

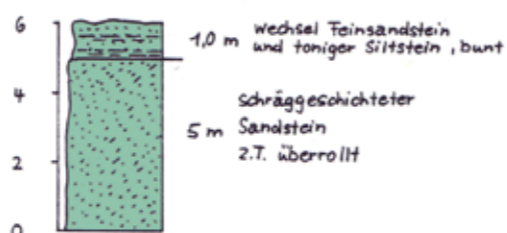


Profil: Taref Formation bis unterer Sandstein
(Einzelhügel südl. Mut-Oase)

1:200

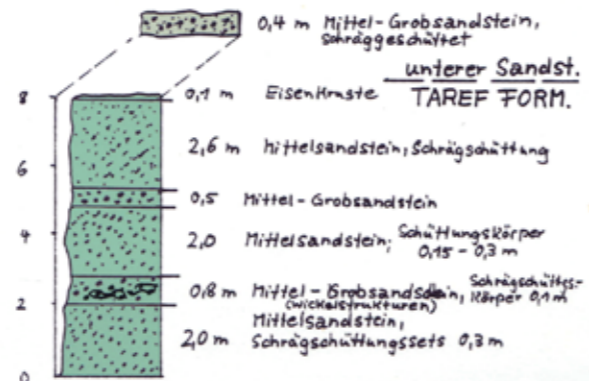


1:200



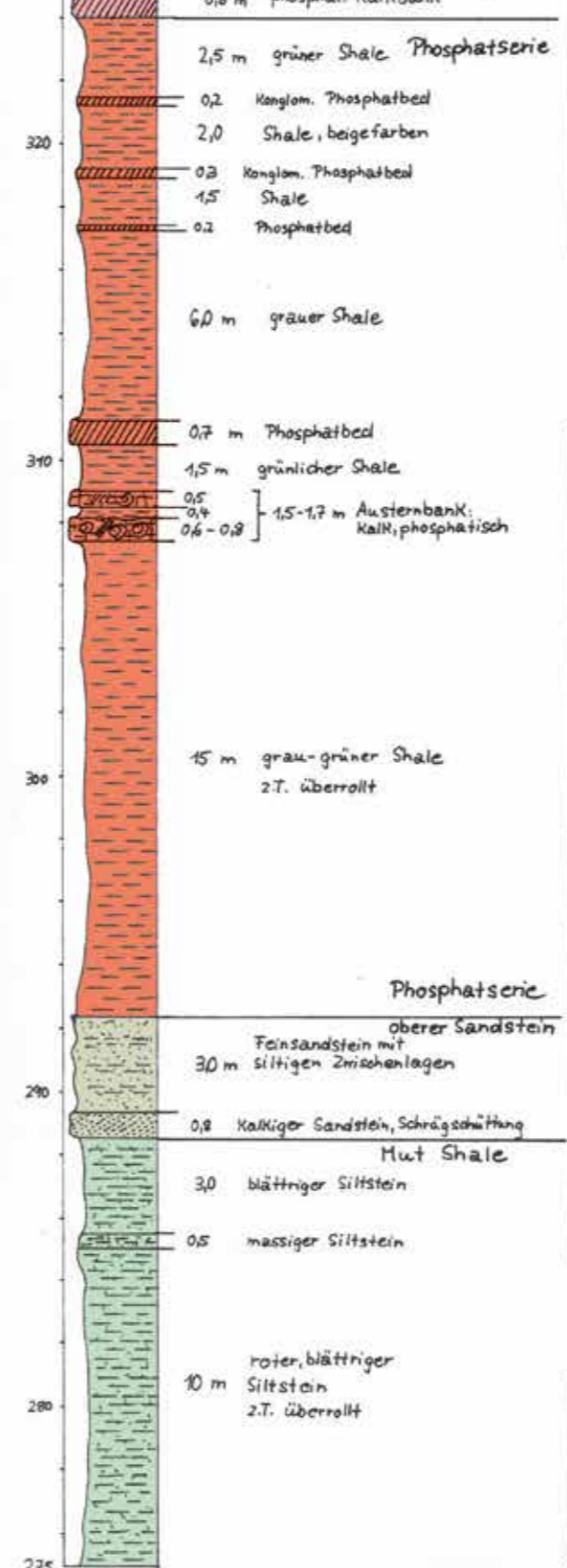
Profil: Taref Form. bis unterer Sandstein
(8 km östlich Ismant)

1:200



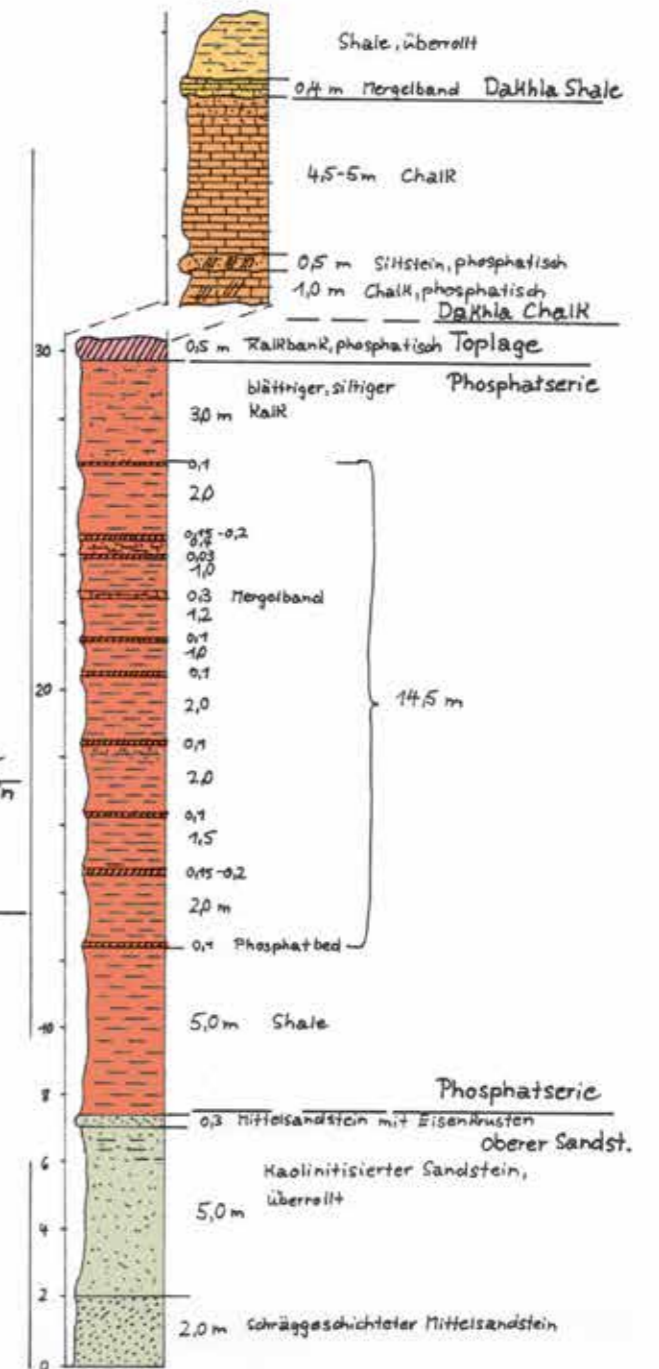
Profil: Mut Shale bis Toplage der Phosphatserie
(14 km südl. Gebel Edmonstone, westl. Fesh-Fesh Pfawe)

1:200



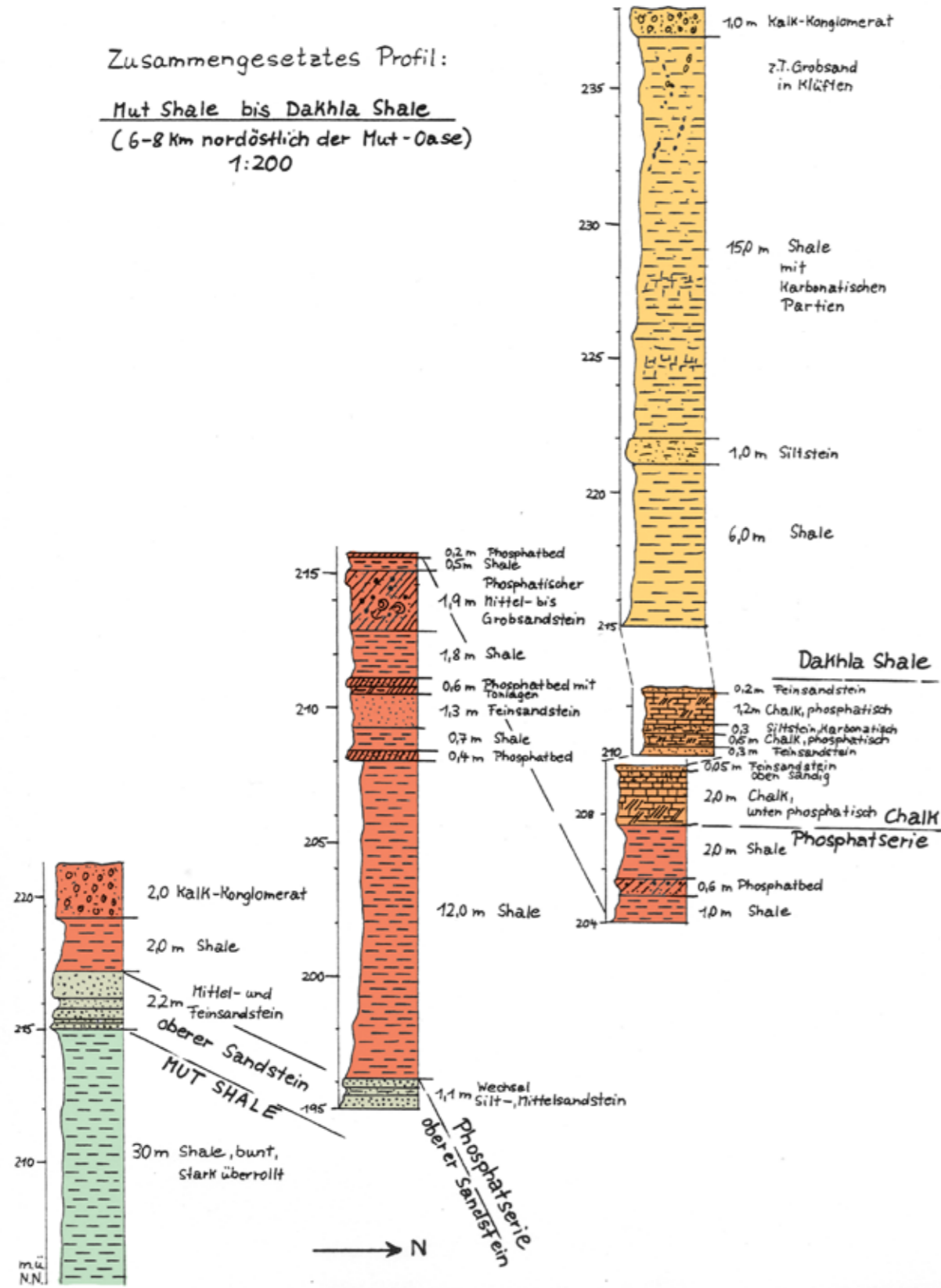
Zusammengesetztes Profil: oberer Sandstein bis Dakhla Shale
(3,5 km südöstl. Gebel Edmonstone)

1:200

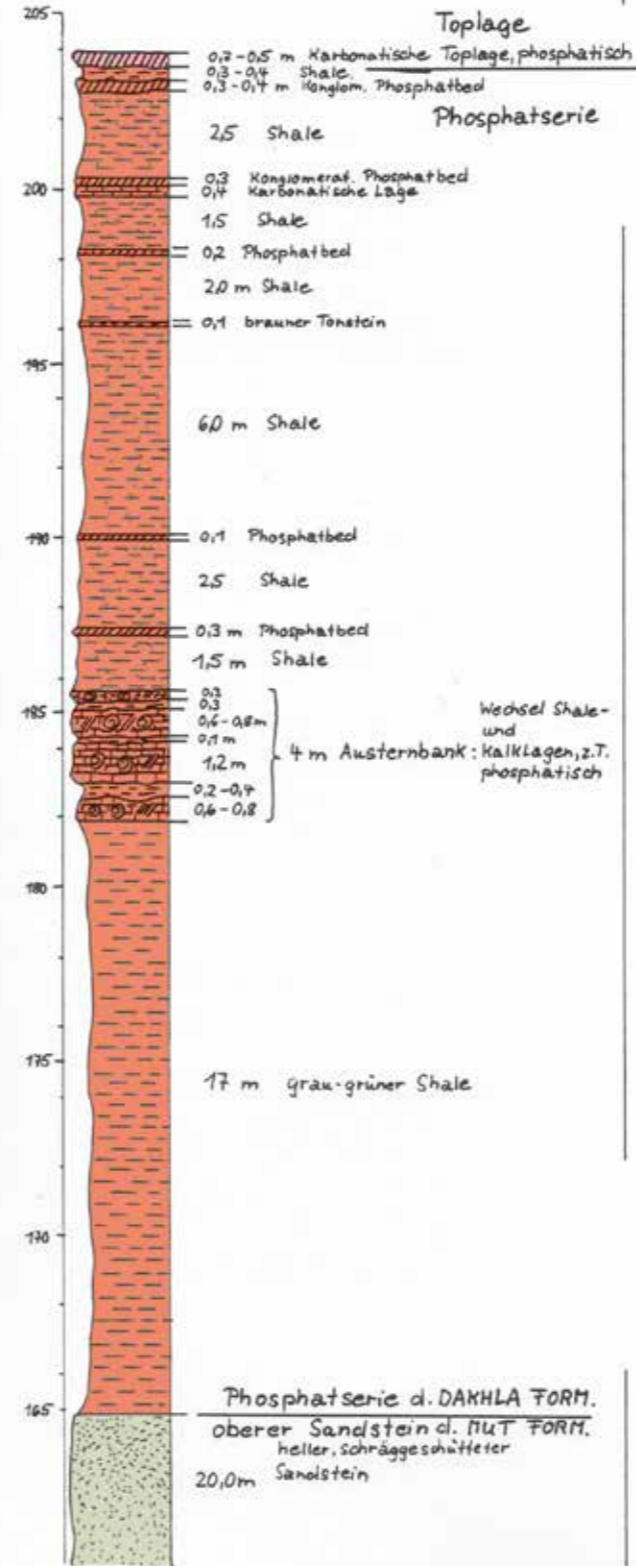


Zusammengesetztes Profil:

Mut Shale bis Dakhla Shale
(6-8 Km nordöstlich der Mut-Oase)
1:200

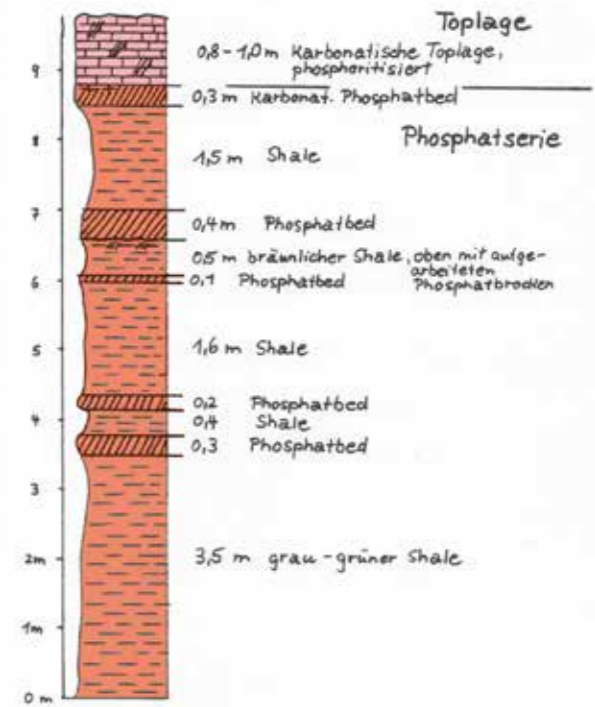


Profil: oberer Sandstein bis Toplage der Phosphatserie
(westl. Ezbet el-Uweina)
1:200

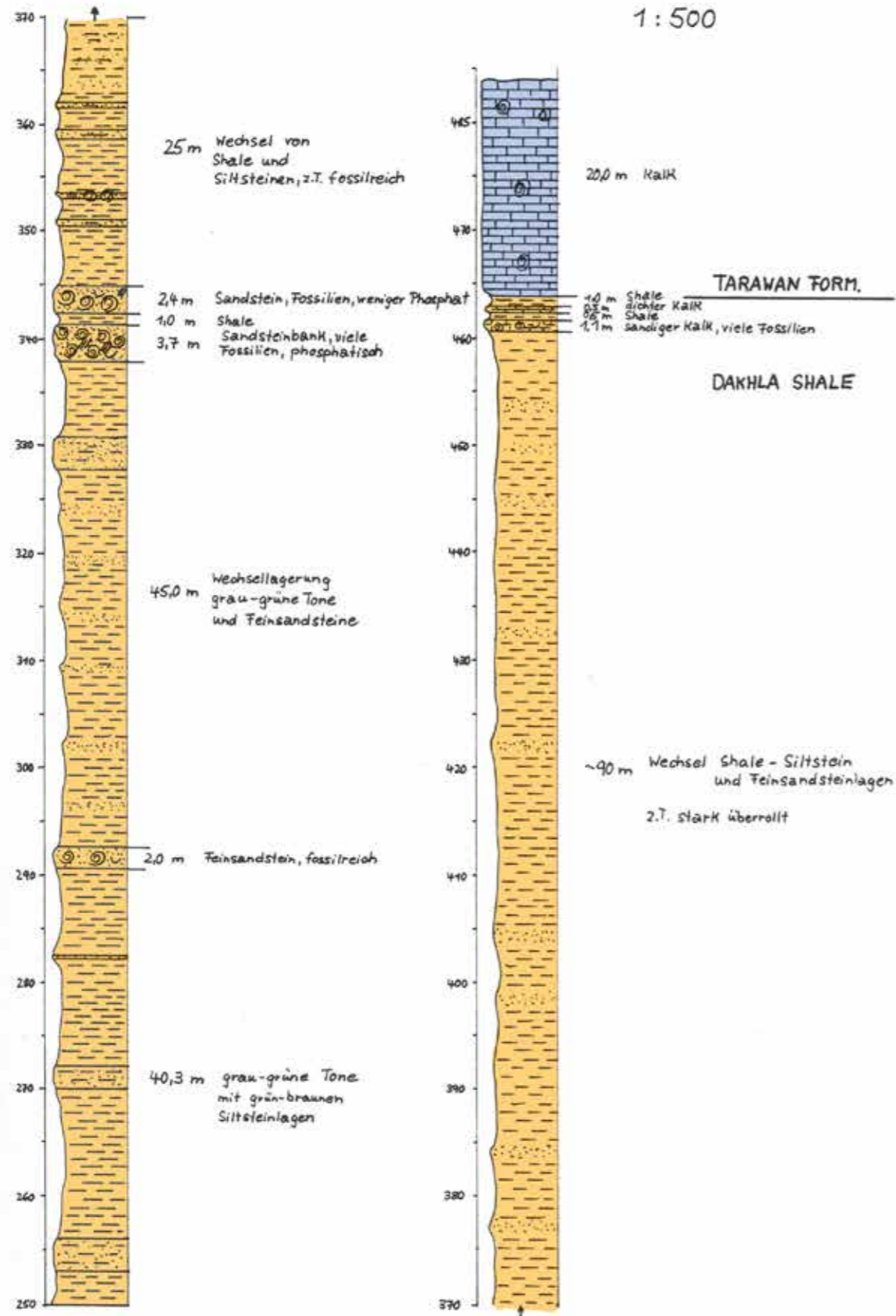


Profil: Phosphatserie bis Toplage
(Hochtal, 14 Km östl. Bir el-Dinaria)

1:100



Profil: Dakhla Shale bis Tarawan Formation
(Nordöstl. d. Gebel Edmonstone)



3. PHOTOGEOLOGIE

3.1 Problemstellung

Ziel der Diplomarbeit sollte es sein, eine photogeologische Detailauswertung im Maßstab 1 : 100 000 für den Bereich der westlichen Dakhla Oasen zu erstellen. Dabei sollten die Ergebnisse der geologischen Kartierung 1 : 50 000 als Grundlage dienen, die mit Hilfe vergleichender Luft- und Satellitenbild-Interpretation auf ein Gebiet von 60 x 44 km (2640 qkm) auszuweiten war. Da jedoch für das Gebiet kein geeignetes topographisches Grundlagenmaterial zur Verfügung stand, musste die Aufgabe um die Herstellung einer Kartierungsbasis erweitert werden (LIST et al. 1984, MEISSNER & RIPKE 1983).

Halbentzerrte Satellitenbilder liefern flächendeckende Informationen zur Geländeoberfläche und durch Licht- und Schattenmodulation der Südbeleuchtung zusätzlichen Anhalt zur Einschätzung der dritten Dimension. Die starke Radialverschiebung herausragender Objekte, z.B. des 300 m hohen Steilhanges, die in der Luftbildkartierung zu erheblichen Problemen führt, ist bei Aufnahmesystemen, die in größerer Höhe operieren (ca. 900 km), auf ein Minimum reduziert. Zudem bietet eine Satellitenbildbasis den Vorteil der zeit- und kostengünstigen Herstellung, deren geometrische Qualität durch digitale Entzerrung nach im Gelände bestimmten Passpunkten optimiert werden kann.

Zentrale Aufgabe der geologischen Auswertung ist die Erfassung der Phosphat-Serie. Ihrer wirtschaftlichen Bedeutung entsprechend soll die Verbreitung möglichst genau erfasst werden. Bisherige Übersichts-Kartierungen (KLITZSCH & LIST 1980) konnten dies nicht – nicht zuletzt wegen der leichten Verwitterbarkeit der Serie und dem Fehlen von typischem Reflektionsverhalten.

3.2 Arbeitsmaterial und -methodik

3.2.1 Grundbegriffe der Photogeologie

Die geologische Fernerkundung befasst sich mit der Analyse von Daten, die von energieaufzeichnenden Sensoren bereitgestellt werden. Im Bereich des elektromagnetischen Spektrums und seiner

optischen Wiedergabe dokumentieren sich physikalische und chemische Charakteristiken der geologischen Verhältnisse (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY & COLWELL 1983).

Die Kriterien, die zur Unterscheidung von Gesteinen im Luft- und Satellitenbild führen, lassen sich in Form eines Photoschlüssels (BIGELOW 1963, FROST 1952, LIST 1968, ROSCOE 1955) tabellarisch darstellen.

Oberflächenbeschreibende Merkmale sind:

- Grauton
- Morphologische Lage und Form
- Entwässerungsnetz
- Vegetationsbedeckung
- Oberflächenstruktur
- Homogenitätsgrad
- relative Härte
- Klüftigkeitsindex (LIST 1968)

1 bis 5 sind allgemeine Kriterien, die sowohl für Fest- als auch für Lockermaterialien angegeben werden können. Die Merkmale 6 bis 8 sind speziell für die photogeologische Interpretation von Festgesteinen relevant.

Anhand der oben genannten charakteristischen Eigenschaften lassen sich Oberflächeneinheiten, sogenannte Photoeinheiten, kartieren, die meist auch bestimmten lithologischen Einheiten entsprechen (KRONBERG 1967). Obwohl gerade in ariden Gebieten der Photogeologie ein großes Wirkungsfeld zukommt, sind doch auch hier die jeweiligen Photoschlüssel nur für ein begrenztes Gebiet gültig. Luftbilder sind Momentaufnahmen von Teilen der Erdoberfläche. Wie sich die Bedingungen zum Zeitpunkt der Aufnahme ändern, so variabel muss auch der Zeichen- bzw. Interpretationsschlüssel sein.

Grauton

Der Grauton ist ein wichtiges Kriterium zur Unterscheidung von Flächeneinheiten. Allerdings kann er keine absolute Größe sein, da er nicht nur die Eigenfarbe des Objektes dokumentiert, sondern auch Abhängigkeit vom Sonnenstand und der Sonnenexposition zeigt. Weitere Faktoren, die das Reflektionsverhalten von Oberflächen beeinflussen, sind Bodenfeuchtigkeit, Rauigkeit und Vegetationsbedeckung. Darüber hinaus kann sich der Grauton

mit dem Wechsel des Aufnahmesystems (Kamera, Objektive, Filter, Filmmaterial) und der photographischen Aufbereitungstechnik ändern.

Morphologische Lage und Form

Die Beurteilung der morphologischen Lage und Form einer Gesteinseinheit ist der Hauptvorteil des stereoskopischen Sehens.

„Landschaftsformen entwickeln sich im Wechselspiel der endogenen und exogenen Kräfte. Dabei entsteht der Formenschatz einer Landschaft in Abhängigkeit der Gesteinseinheiten und vom jeweiligen Klima“ (KRONBERG 1967, S. 55).

Durch die Erfassung der morphologischen Lage einer Schicht ist ihre Einordnung in die geologische Umgebung (Hangend oder Liegend) möglich, außerdem können Aussagen über Lagerungsverhältnisse (horizontal, geneigt) getroffen werden. Darüber hinaus erlaubt das stereoskopische Modell manchmal ein Abschätzen der Fallrichtungen.

Der morphologische Formenschatz lässt eine Aussage über die Härte des Materials zu (z.B. kantenbildend, plateaubildend, ebenen- und pfannenbildend).

Ei der Interpretation von Lockermaterialien gibt die räumliche Lage häufig einen Hinweis über das Liefergebiet und damit über Ausgangsmaterial und Bildungsgeschichte.

Die morphologische Form lässt oft noch eindeutiger Aussagen über Art und Entstehung (z.B. Moränenwälle) eines Lockergesteinskörpers zu.

Entwässerungsnetz

„Flußnetze unterscheiden sich durch die Art ihrer Aufgliederung, durch ihre Dichte und ihre Ausrichtung“ (KRONBERG 1967, S. 61).

Aufgrund von bestimmten Kombinationen lithologischer (Härte, Permeabilität, Klüftigkeit, Löslichkeit) und struktureller (Lagerung, Art und Intensität der Klüftung, Anzahl der Störungen) Eigenschaften treten einige Grundtypen von Flussnetzen immer wieder auf. Da jedoch gleiche Flussnetze von unterschiedlichen lithologischen und strukturellen Eigenschaften gebildet werden können, ist die Berücksichtigung von allen anderen hier aufgeführten Kriterien unumgänglich.

Im ariden Klima kommt dem Entwässerungsnetz

nicht die Bedeutung wie in humiden oder gar tropischen Regionen zu. In Gebieten mit seltenem oder fehlendem Niederschlag treten die Wadis, d.h. trockengefallene ehemalige Fluss- oder Bachläufe in den Vordergrund. Diese „konservierten“ Entwässerungsrinnen kommen nur bedingt für die Beurteilung der Lithologie und des Baus des unterliegenden Gesteinstypes in Frage. Häufig ist die Kartierung des Wadinetzes auf einer getrennten Folie überflüssig, da sie durch die Klassifizierung des Lockermaterials am Boden des Wadilaufs ersetzt wird.

Bei flachgelagerten Schichten kann die Beurteilung des ehemaligen Entwässerungsnetzes nicht ausreichend für die Interpretation der geologischen Schichten sein, da hier die Klüfte und Störungen, durch Erosion verbreitert und verdeutlicht, in den Vordergrund treten.

Vegetationsbedeckung

Für den Photogeologen ist weniger die Art des Bewuchses, als vielmehr die Musterung durch Vegetationsverteilung (gleichmäßig, ungleichmäßig, aufgelockert, vereinzelt) und Vegetationshöhe (Bäume, niedrigere Sträucher, Gras und flacher Bewuchs) von Bedeutung. Indirekt sind so Rückschlüsse auf die lithologischen Einheiten möglich.

Oberflächenstruktur

Die Oberflächenstruktur ergibt sich aus dem Zusammenwirken von nicht oder nur schwer auflösbaren Einzelformen. Sie ist im Wesentlichen von den lithologischen Eigenschaften des jeweiligen Gesteins abhängig. Als wichtiger Faktor sei hier der Bildmaßstab erwähnt, denn er entscheidet darüber, ob feine Oberflächenstrukturen zum Grauton (kleiner Maßstab) oder zur körnigen Textur zusammenlaufen, oder als Einzelformen (großer Maßstab) erkennbar sind (SCHNEIDER 1974).

Homogenitätsgrad

Der Homogenitätsgrad erlaubt eine annähernde Beurteilung über genetische Bedingungen der Gesteinsschichten. So ist die Unterscheidung von Wechsellagerungen (z.B. Sandstein – Schiefer-ton) und massigen Gesteinskomplexen möglich.

Relative Härte

Die relative Härte ist ein ganz wesentliches Kriterium zur Unterscheidung von Gesteinen, denn sie gibt Auskunft über die Erosionsresistenz einer lithologischen Einheit in einem bestimmten Klimabereich. Es sollte jedoch beachtet werden, dass durch tektonische Beanspruchung einer Schicht unterschiedliche relative Härten interpretiert werden können.

Klüftigkeitsindex

„Der Klüftigkeitsindex stellt einen Versuch dar, die unterschiedlich starke Zerteilung verschiedener lithologischer Einheiten durch einen repräsentativen und reproduzierbaren Zahlenwert zu erfassen und so vergleichbar zu machen“ (LIST 1968, S. 20). Die Klüftigkeit als interpretierbare Größe kommt der Photogeologie gerade in ariden Gebieten zugute. Grundbedingung ist die ausreichende Größe der einzelnen Flächen (LIST 1968, STOCK 1972, ROLAND 1973).

3.2.2 Arbeitsunterlagen und Geräte

Im folgenden werden die verwendeten Fernerkundungsdaten und die benutzten Geräte vorgestellt.

Luftbilder

Folgende Luftbilder der Western-Desert-Befliegung standen für die Interpretation zur Verfügung:

Flugreihe (E – W)	Bildnummer (S – N)	Datum der Befliegung
WD 25	15105 – 15115	16. 02. 1961
WD 24	1597 - 1586	15. 02. 1961
WD 01	4757 - 4767	22. 06. 1961
WD 02	4799 - 4789	22. 06. 1961
WD 03	4858 - 4868	22. 06. 1961
WD 04	4898 - 4888	22. 06. 1961
WD 05	5258 - 5268	11. 07. 1961
WD 05A	52132 - 52122	11. 07. 1961
WD 06	5157 - 5167	02.07. 1961

Die aufgeführten Bilder lagen als Papierabzüge im ungefähren Maßstab 1 : 50 000 vor. Aus der Kammerkonstanten (c = 88,30 mm) und dem Maßstab ergibt sich die Flughöhe von ca. 4400 m über Grund. Die Überlappung der Bilder in Flugrichtung (N/S bzw. S/N) beträgt 60%, während die randliche Überdeckung zwischen 8% und 65 % schwankt, was auf die Befliegung an unterschiedlichen Tagen zurückzuführen ist.

Die photographische Qualität der Luftbilder ist sehr unterschiedlich, was das stereoskopische Sehen z.T. sehr negativ beeinflusste.

Satellitenbilder

Neben den Luftbildern wurden Halbton-Diavergrößerungen im Maßstab 1 : 100 000 von den RBV-Szenen (Return Beam Videcon, Landsat 3) benutzt:

190 – 042 C, 23. 11. 1980 (Originalmaßstab 1 : 500 000),
191 – 042 D, 19. 10. 1980;

Als Grundlage für die Kartierung der Interpretationsergebnisse diente eine halbentzerrte Montage von Teilausschnitten der genannten RBV-Szenen (Pöhlmann & Meissner 1983).

Eine farbige Diavergrößerung 1 : 100 000 der Landsat (MSS)-Szene 191 – 042 (Ausschnitt) vom 12. 11. 1972 stellte eine zusätzliche Informationsquelle dar, die besonders zu Beginn der Arbeiten sehr hilfreich war.

Benutzte Geräte

- Stereoskop TOPCON (Tokyo Kogaku Kikai Co., Ltd.)
- ZEISS-Radialsecator RS II
- ZEISS-Stereotop (Umzeichnungsgerät 3. Ordnung)
- sowie reproduktionstechnische Geräte der Technischen Fachhochschule Berlin, Fachbereich 7.

3.2.3 Arbeitsweise

Eine Vorinterpretation im Maßstab 1:100000 diente dazu, bereits in der Literatur beschriebene Schichten im Satellitenbild zu lokalisieren, und durch Aufstellung eines Photoschlüssels ihre im

Luft- oder Satellitenbild charakteristischen Merkmale zu erfassen. Außerdem konnte so eine Grundlage geschaffen werden, die einen ersten Überblick für die Geländekartierung in 1 : 50 000 liefert, und zudem eine gezielte Kontrollbegehung in kritischen Bereichen ermöglicht (siehe auch MEISSNER 1975, MEISSNER 1979).

Kartierung 1 : 50 000

Ein Ausschnitt des photogeologischen Bearbeitungsgebietes sollte im Gelände kartiert und mit Profilaufnahmen abgesichert werden. Zu diesem Zweck wurde eine charakteristische Region, die möglichst viele der vorkommenden Schichten umfasst, ausgewählt (Abb. 25). Sie wird von sechs Luftbildmodellen (WD 02: 4795, 4796, 4797, 4798; WD 01: 4761, 4760, 4759, 4758) abgedeckt (Abb. 25).

Da für dieses Gebiet keine verlässliche Kartenunterlage

vorhanden war, musste die geometrische Basis des halbentzerrten RBVs als Kartenersatz benutzt werden. Obwohl die Detailkartierung nur sechs Stereomodelle umfasst, war die Zusammenfügung aller Luftbilder zu einem radialschlitztriangulierten Verband notwendig, da keine Passpunkte für die Einzelmodelle zur Verfügung standen.

Das Verfahren wurde in früheren Arbeiten wiederholt beschrieben (MEISSNER 1975, SALAHCHOURIAN & TEHRANI 1982, ZIRN 1983); hier sei nur kurz darauf eingegangen: Nach dem Aufsuchen und Übertragen der Haupt- und Rautenpunkte wurden diese auf Schablonen im Maßstab 1 : 1 (1 : 50 000) markiert und mit dem ZEISS-Radialsecator RS II gestanzt. Anschließend konnten die so vorbereiteten Schablonen zu einem Verband zusammengefügt und auf die im Gelände gemessenen Punkte eingehängt werden.

Die so gewonnene Passpunktunterlage (Astralon)

diente als Anhalt für die Einstellung des Stereokartiergerätes 3. Ordnung (ZEISS-Stereotop), an dem die Auswertung der sechs Stereomodelle erfolgte. Bei dieser Detailkartierung 1 : 50 000 musste auf eine zusätzliche Höheneinpassung der Modelle, aufgrund fehlender Höheninformationen in topographischem Grundlagenmaterial, verzichtet werden. Dementsprechend treten Modellverbiegungen auf, durch die eine exakte Einstellung des Gerätes nach Passpunkten nicht möglich ist. Abweichungen im Bereich von 0,2 mm bis 4 mm in den Randbereichen konnten jedoch zeichnerisch ausgeglichen werden: Die einzelnen Kartierfolien wurden auf einen Halbton-Diafilm der RBV-Szene 1 : 50 000 lokal eingepasst und auf ein Astralon hochgezeichnet. Die halbentzerrte Satellitenbildbasis ermöglichte jeweils in kleinen Bereichen ein genaues Einpassen. Durch entsprechende Verschiebungen der Kartierfolien und partielles Hochzeichnen wurde die geometrische Genauigkeit der RBV-Grundlage eingehalten.

Kartierung 1 : 100 000

Die bereits beschriebene Methode der schnellen Interpretation (MEISSNER & RIPKE 1983) basiert auf der Luftbildauswertung unter dem Stereoskop (Linienziehung mit feinen OH-Stiften auf klarem Astralon) und der anschließenden Übertragung auf die RBV-Basis (mit Foliograph auf Astralon) nach Gestalt- und Lagerrelationen.

Da die geologischen Grenzen nach LIST et al. (1974) mit einer der topographischen Kartenunterlage entsprechenden Genauigkeit gezeichnet werden sollten, ist durch die Verwendung eines halbentzerrten Satellitenbildes (mit seiner kontinuierlichen Reliefwiedergabe) als Kartierungsbasis eine wesentlich detailreichere und genauere Linienführung möglich. Um bereits kartierte Linien nicht noch einmal zeichnen zu müssen, wurden auf dem Astralon der Vorinterpretation mit blauem Filzstift Bereiche unterschieden, die auch nach der Geländebegehung Geltung haben und solche, die geändert werden müssen. Anschließend konnte an der Technischen Fachhochschule über kopier-technische Verfahren eine Folie erstellt werden, die nur noch die korrekten Linien enthält. Auf dieser Folie wurden die Informationen der neu- und

vollständig ausgewerteten Luftbilder kartiert. Eine zweite Folie diente wiederum dem farbigen Anlegen der Flächeneinheiten.

Die tektonischen und strukturellen Elemente wurden auf eine dritte Folie gezeichnet (Klüfte, Störungen, Schüttungsstrukturen, Einfallrichtungen). Entsprechend Grundlagen über Oasen und Dünenfelder (Kartierung Ripke im Rahmen des Sfb 69, 1983), geographische Netz- und Rahmenkonstruktionen konnten einer an der TFH durchgeführten Diplomarbeit (PÖHLMANN & MEISSNER, MILO 1983) entliehen werden. So konnten wahlweise Lichtpausen mit oder ohne RBV-Grundlage erstellt werden, die der Darstellung der Interpretationsergebnisse (mit Buntstift koloriert) und der Markierung von Hauptstörungsrichtungen dienen sollten.

An dieser Stelle soll noch erwähnt werden, dass ein Luftbildmosaik des Bearbeitungsgebietes, das ebenfalls im Rahmen einer Diplomarbeit an der TFH hergestellt worden ist (PÖHLMANN & MEISSNER, ZIRN 1983), bei der Kartierung der Schüttungsstrukturen innerhalb der unteren Sandsteinbank (Mut-Formation) wertvolle Dienste leistete.

3.3 Lithologische Ergebnisse

3.3.1 Taref-Formation

- „Nubian Sandstone“ (HERMINA et al. 1961)
- „Nubia Sandstone“ (SAID 1962)
- „Taref Sandstone“ (KLITZSCH 1978)
- „Taref-Formation“ (BARTHEL & HERRMANN-DEGEN 1981)
- „Taref-Formation“ (BISEWSKI 1982)

Der Taref-Sandstein und der überlagernde Variegated Shale wurde bis Ende der 70-er Jahre als Fazies-einheiten der Nubischen Serie (AWAD & GHOBRIAL 1965) in entweder mehr sandiger oder mehr toniger Ausbildung betrachtet. Klitzsch (1978) beschreibt den Taref-Sandstein als meist mittelkörnige Sandsteinserie mit gelegentlichen „Mudstone“-Zwischenschaltungen. Es treten fluvio-kontinentale kreuzgeschichtete Anteile mit wechselnden Schüttungsrichtungen und auch massige Bänke möglicherweise äolischen Ursprungs auf.

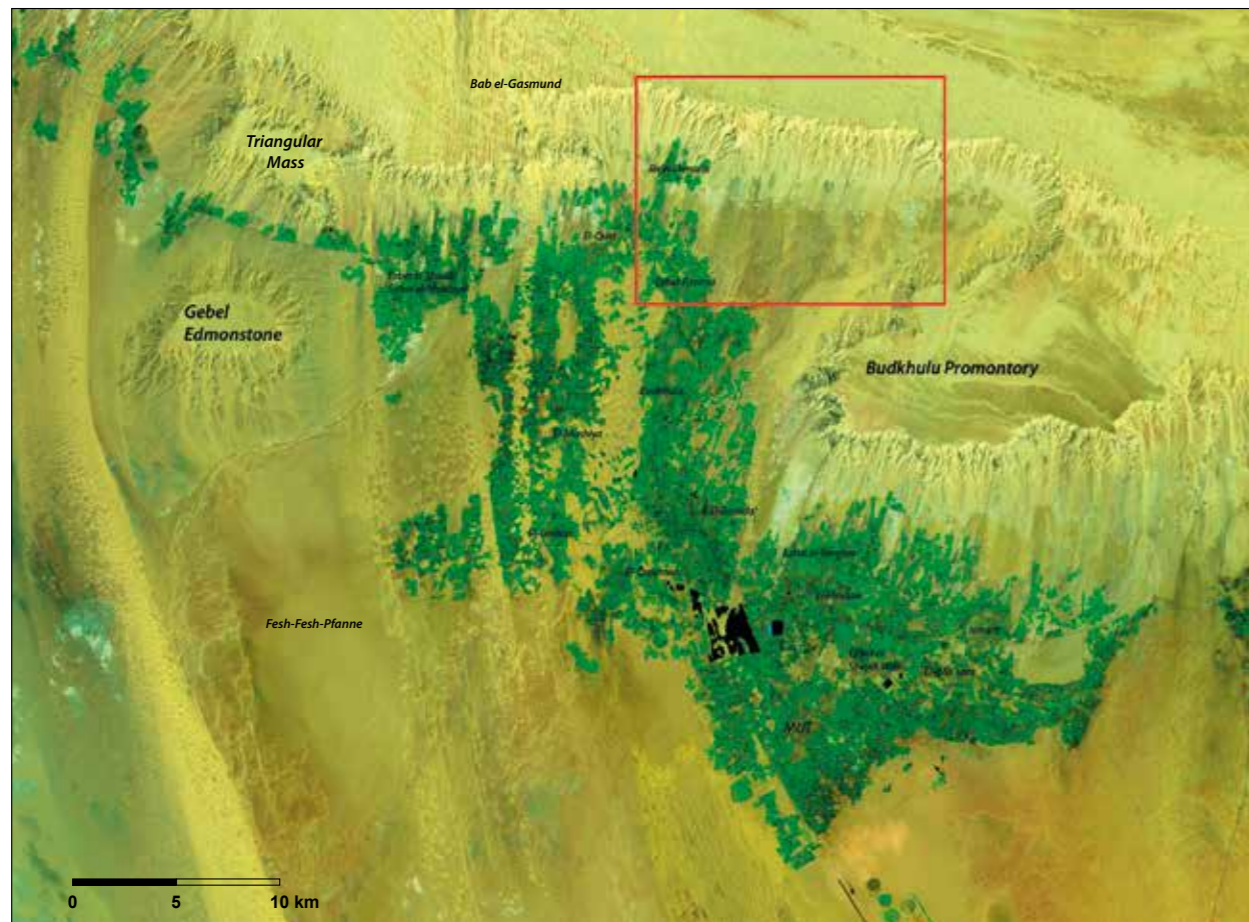


Abb. 25: Lage der Detailkartierung 1 : 50 000 im Gesamtbearbeitungsgebiet (Satellitenbild: NASA/USGS (2017): Landsat 8, OLI 177-042, Kanäle 753, 06-09-2017)

Der höhere Teil der Taref-Formation (BARTHEL & BÖTTCHER 1978) besteht nach BISEWSKI (1982) südlich von Dakhla aus überwiegend mittel- bis grobkörnigen Sandsteinen fluviatilen Ursprungs, die sowohl schräggeschichtet als auch massig ausgebildet sein können.

Die in der Literatur beschriebene Sedimentationspause zwischen Taref-Formation und Mut-Formation (BISEWSKI 1982) mit dem Auftreten von erosiv angeschnittenem Sandstein und einigen Bodenhorizonten war auslösend für die Zuordnung der beobachteten länglichen Sandsteinkörper zu der Taref-Formation. Die obere Grenze wird durch eine ca. 2,5 m mächtige Deltaschüttung markiert, die im Gegensatz zum Taref-Sandstein flächenhaft auftritt und durch eine Geländekante im Luftbild gut zu erfassen ist. Die untere Grenze ist im Bearbeitungsgebiet nicht aufgeschlossen.

Wegen der Fossilarmut (im Bearbeitungsgebiet wurden keine Fossilien beobachtet) muss die Taref-Formation aufgrund von Datierungen der Nachbarformationen stratigraphisch eingeordnet werden. BISEWSKI (1982) hält die Zeitspanne zwischen dem höheren Cenoman und dem Campan für wahrscheinlich.

Ihre größte Mächtigkeit erreicht die Taref-Formation mit etwa 110 m im Taref-Plateau, 45 km südwestlich von Mut und an der Abu Tartur-Schichtstufe nördlich und nordöstlich von Qulu el-Sabaya (BISEWSKI 1982).

Das Auftreten der Taref-Sand- und Siltsteine ist auf den südöstlichen Randbereich des Bearbeitungsgebietes beschränkt.

Die Ausscheidung der Taref-Sande im Luftbild basiert auf der morphologischen Kante, die von den

flächig auftretenden Deltasanden der Mut-Formation gebildet wird. Obwohl sich das Material beider Schichten nicht wesentlich voneinander unterscheidet, ist durch die unterschiedliche Erscheinungsform im Luftbild eine klare Trennung möglich.

Die Oberkanten der charakteristischen Flussand-Rücken befinden sich nur wenig tiefer als das umgebende Niveau, das durch die Deltaschüttung gebildet wird. Es ist nicht auszuschließen, dass sich noch Teile der Deltasande auf den länglichen Sandsteinkörpern befinden, sie werden aber in der Kartierung zugunsten des Liegenden vernachlässigt.

Südlich der Mut-Oase nimmt der oberflächliche Sandanteil stark zu. Hier kann der Taref-Sandstein nicht mehr eindeutig kartiert werden, obwohl er dort vermutet wird. In diesem Bereich wechselt auch die morphologische Erscheinung der Taref-Sedimente. Die langgestreckten Formen treten hinter kleineren Einzelhügeln zurück. Darüber hinaus werden lokale Senke beobachtet, die das ehemalige Relief zur Taref-Zeit widerspiegeln, und in die sich die Sande der unteren Mut-Formation diskordant abgelagert haben.

3.3.2 Mut-Formation

„Nubian Formation“ (HERMINA et al. 1961)

„Variegated Shales“ (SAID 1962)

„Variegated Shale“ (KLITZSCH 1978)

„Mut-Formation“ und „El Hindaw Member der Dakhla-Formation“ (BARTHEL & HERRMANN-DEGEN 1981)

„Mut-Formation“ (BISEWSKI 1982)

Tab. 1: Interpretationsschlüssel der Taref-Formation

Grauton	dunkel bis sehr dunkel
Morphologische Lage und Form	tiefen unterhalb der Deltaschüttung gelegen: in N-S Richtung langgestreckte Rücken, in südl. Gebieten kleine Einzelhügel;
Entwässerungsnetz	—
Vegetationsbedeckung	—
Oberflächenstruktur	nicht erkennbar
Homogenitätsgrad	schlecht
Relative Härte	hart
Klüftigkeitsindex	1,9 pro qkm

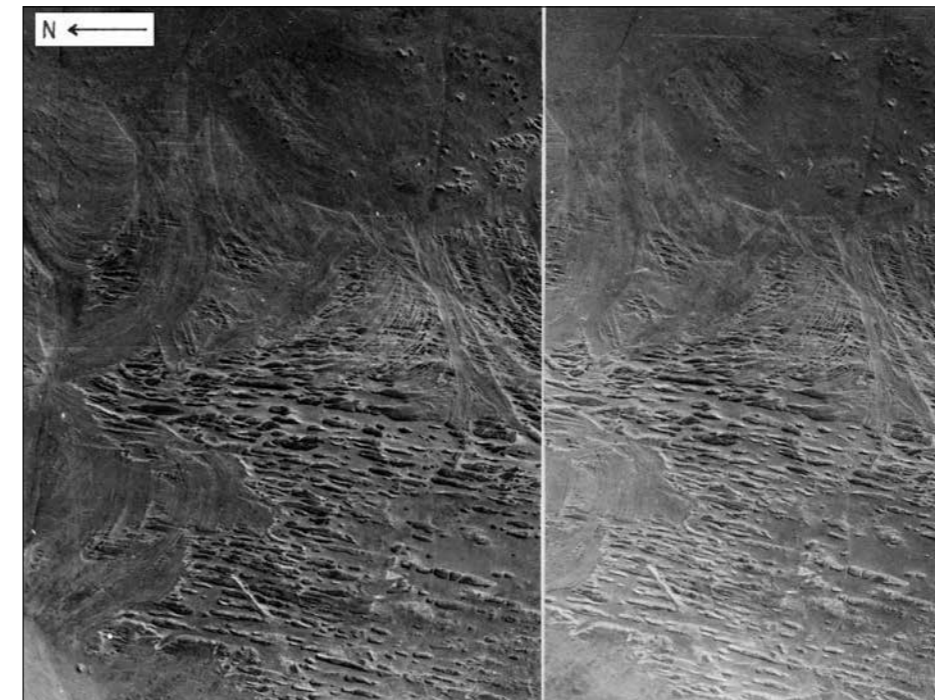


Abb. 26: Stereomodell WD 25/15112 – 15113, 18 km östlich von Mut.

Die länglichen Taref-Flussandrücken werden von der unteren Sandsteinbank (Schüttungsstrukturen) überlagert, die nach N unter das weiche Material des Mut-Shale taucht.

Unterer Sandstein der Mut-Formation

BISEWSKI (1982) verweist in einer Profilbeschreibung im Bereich des nördlichen Horsetail-Plateaus auf den auffälligen Fazieswechsel der Mut-Formation. Während in nächster Nähe des Plateaus kontinentale Einflüsse vorherrschen, werden sie in nordöstlicher Richtung zunehmend marin.

Für das Gebiet 40 km östlich von Dakhla beschreibt er im Übergangsbereich der Taref- zur Mut-Formation ein leichtes Relief, das mit einer dünnen Eisenkruste ausgekleidet ist. Hier sollen die basalen Schichten der Mut-Formation aus roten, grünen und grauen tonigen Siltsteinen mit vielen Pflanzenresten bestehen.

Weitere Hinweise für die Existenz der Deltasande lassen sich in der Literatur nicht finden. Photogeologisch sind sie jedoch von großer Bedeutung, da sie aufgrund der relativen Härte und des flächenhaften Auftretens eine hervorragend zu kartierende Grenze zwischen der Taref- und der Mut-Formation bilden.

Da die kontinentalen Ablagerungen der Taref-Formation im Bearbeitungsgebiet stellenweise mit einem Bodenhorizont abschließen, die untere Sandsteinbank jedoch als Deltaschüttung gedeutet wird, erscheint ihre Zuordnung zur vorwiegend marin ausgebildeten Mut-Formation als gerechtfertigt.

Das Auftreten der unteren Sandsteinbank ist an den unmittelbaren Grenzbereich zur Taref-Formation im südöstlichen Kartierungsgebiet gebunden. Nach Osten nimmt der flächige Charakter der Schicht zu, südlich und östlich von Balat konnte sie jedoch nicht mehr nachgewiesen werden. Der südwestliche Grenzbereich ist durch oberflächige Sande verdeckt. Es muss aber ein lokal begrenztes Auftreten angenommen werden.

Das für die photogeologische Luftbildinterpretation wichtigste Indiz sind die gebogenen Schüttungsstrukturen. Es handelt sich dabei um halbkreisförmige Schnittlinien von schräggeschütteten Sandsteinblättern mit der Geländeoberfläche. Die Strukturen erreichen eine Ausdehnung von 1,0 km bis 1,5 km und dominieren besonders in dem Gebiet zwischen der Mut-Oase und den westlichsten Ausläufern der Balat-Oase. Im Gegensatz zu den Taref-Sandsteinen ist die Schicht flächig ausgebildet, wobei sich jedoch gelegentlich langgestreckte Strukturen durchpausen.

Die Grenze zum Liegenden wird durch eine morphologische Kante gebildet, die Grenze zum Hangenden ist durch Lockermaterialien meist verwischt und kann nur erahnt werden.

Aufgrund der relativen Härte des Materials können im Luftbild Einfallrichtungen markiert werden,

Tab. 2: Interpretationsschlüssel der unteren Sandsteinbank

Grauton	mittelgrau bis sehr dunkel
Morphologische Lage und Form	Niveau des obersten Taref-Sandsteins: flächig ausgebildet, relativ eben, kantenbildend;
Entwässerungsnetz	————
Vegetationsbedeckung	————
Oberflächenstruktur	bogenförmige Schüttungsstrukturen und Striemen
Homogenitätsgrad	gut
Relative Härte	hart
Klüftigkeitsindex	1,4 pro qkm

die umlaufende Tendenz zeigen, vorwiegend aber nach NW und N zeigen. Lokale Senken im Taref-Sandstein, die entsprechend dem morphologischen Gefälle mit Sanden der unteren Mut-Formation gefüllt wurden, sind bereits erwähnt worden. 15 km südlich von El-Ma'sara erreicht eine solche Senke die Ausmaße von 4 x 3 km, wobei die randlichen Partien jeweils zur Muldenmitte einfallen. Undeutlich erkennbare Schüttungsfächer bestätigen die schon zum Zeitpunkt der Ablagerung vorhandenen Reliefzustände.

Mut-Shale

HERMINA et al. (1961) beschreiben für das Gebiet der Dakhla Oasen 75 m bis 95 m rote Tone. Sie stellen sie als Unit I in die Nubische Formation. SAID (1962) erwähnt die 62 m mächtigen „Variegated Shales“, während BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) den Namen in „Mut-Formation“ ändern.

Während im Allgemeinen nur knappe Angaben zu

der recht eintönigen Shale-Serie gemacht werden, beschreibt BISEWSKI (1982) auffallende Fazieswechsel in nordöstlicher Richtung, die von kontinentaler zu mariner Ausbildung tendieren.

Durch die Fossilarmut lässt sich die Mut-Formation stratigraphisch nicht eindeutig einordnen. Da jedoch der basale Teil der Dakhla-Formation („El-Hindaw Member“ BARTHEL & HERRMANN-DEGEN 1981) ins obere Campan gestellt wird, ergibt sich für die Mut-Formation als stratigraphisches Niveau das untere bis mittlere Campan. Im Dakhla-Bereich sind die Mut-Shales als Vorläufer einer kräftigen Transgression zu deuten, die die Regression der Taref-Zeit beendet.

Der Mut-Shale ist im Bereich der Dakhla-Oasen in einem bogenförmigen Streifen, der in etwa die Form des Tarawan-Plateaus nachempfunden, vertreten. Seine maximale N/S-Ausdehnung beträgt bei El-Qasr 24 km, während sie östlich der Mut-Oase auf 3 km zurückgeht.

Südlich des Gebel Edmonstone befindet sich eine

Tab. 3: Interpretationsschlüssel des Mut-Shale

Grauton	mittelgrau bis dunkel
Morphologische Lage und Form	tiefer liegende Flächen bildend; kleinere Erhebungen;
Entwässerungsnetz	im weichen Material sind z.T. Entwässerungsrinnen erkennbar;
Vegetationsbedeckung	große Teile werden landwirtschaftlich genutzt;
Oberflächenstruktur	leicht modulierte Oberfläche
Homogenitätsgrad	gut
Relative Härte	sehr weich
Klüftigkeitsindex	kaum erkennbar, nicht charakteristisch;

Tab. 4: Interpretationsschlüssel des oberen Sandsteins der Mut-Formation

Grauton	mittelgrau bis dunkel, z.T. weißlich
Morphologische Lage und Form	an unterster Kante der Phosphatstufe, flächenhaft und kantenbildend;
Entwässerungsnetz	————
Vegetationsbedeckung	————
Oberflächenstruktur	hart gestriemte Flächen
Homogenitätsgrad	mittelmäßig bis sehr gut
Relative Härte	sehr hart
Klüftigkeitsindex	3,4 pro qkm (2,0 bis 5,7 pro qkm)

18 km x 10 km große Senke, die an drei Seiten von Gesteinen der oberen Sandsteinbank eingerahmt wird, und deren Boden von den stark kaolinitisierten Shales bedeckt ist.

Im Westen erscheinen die Tonsteine der Mut-Formation erst wieder im Bereich des Horsetail-Plateaus, während sie östlich ihre flächige Ausdehnung verlieren und auf den Hangbereich des Abu Tartur Plateaus beschränkt bleiben.

Die Shales der Mut-Formation bieten im Luftbild kein eindeutiges Charakteristikum, so dass sich die Kartierung auf die Erfassung der oberen und unteren Grenze, die jeweils von einer Sandsteinbank gebildet wird, stützen muss. Zudem erschwert die Verwitterungsanfälligkeit der Silt- und Tonsteine mit dominierendem Auftreten von Lockermaterialien die Identifizierung im Luftbild. Dementsprechend ist die Kategorie „Mut-Shale“ keine reine Einheit, denn sowohl Sandflächen als auch Seeablagerungen sind darin enthalten. Südlich des Budkhulu Promontory erstreckt sich ein weiträumiges Gebiet, das von Lockermaterialien und Kalkkonglomeraten aus dem Plateaubereich bedeckt wird. Der weiche Charakter und das wiederholte Auftreten von roten Siltsteinen unter der Lockermaterialbedeckung lassen jedoch die Kartierung als Shale zu.

Südlich von El-Qalamun bot allein die Beurteilung der dritten Dimension einen Anhalt für die Ausscheidung der Shale-Flächen. Während höhergelegene, von Sand und Scherben bedeckte Flächen als obere Sandsteinbank identifiziert wurden (Geländebefund), fielen die tiefer gelegenen (Niveau der Oasen) in die Kategorie der Shales. In Bereichen wo die Lockergesteine offensichtlich mächtiger

vertreten sind (Hangschutt der oberen Sandsteinbank, Dünen und Sandflächen zwischen Dünen), treten die Oasenflächen in der Kartierung zu Ungunsten des Shales in den Vordergrund.

Oberer Sandstein der Mut-Formation

HERMINA et al. (1961) erwähnen eine 20 m bis 35 m mächtige Schicht mit alternierenden Sandsteinen, sandigen Tonen und Shales. Sie stellen sie als Unit II in die „Nubian Formation“. Während SAID (1962) keine Hinweise auf eine Sandbank im oberen Teil der Mut-Formation macht, beschreiben BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) einen weißlichen Sandstein mit zwischengeschalteten grünlich bis rötlichen Tonen, den sie an die Basis des „El-Hindaw Members“ stellen. Diese Lösung ist für die Luftbildkartierung unbefriedigend, da die obere Sandsteinbank eine gut zu kartierende Obergrenze der Mut-Formation liefert. Sie steht als harte Bank zwischen den Shales des Liegenden und den Shale-Zwischenlagen der Phosphat-Serie.

Während HERMINA et al. (1961) einen Ablagerungs-Zeitraum an der Wende von Campan und Maastricht annehmen, stellen BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) die Basis des „El-Hindaw Members“ an den Beginn des oberen Campan. Eindeutige Aussagen zur stratigraphischen Stellung sind jedoch aufgrund des kaum vorhandenen Fossilinhaltes auch hier nicht zu treffen. Die obere Sandsteinbank ist sowohl an die nördliche, als auch die südliche Grenze des Mut-Shales gebunden. Nördlich der Oasen ist sie z.T. vollständig und durchgehend vorhanden. Hier erreicht sie mit ca. 20 m ihre maximale Mächtigkeit, bildet aber nur stellenweise (nördlich El-Rashda) größere

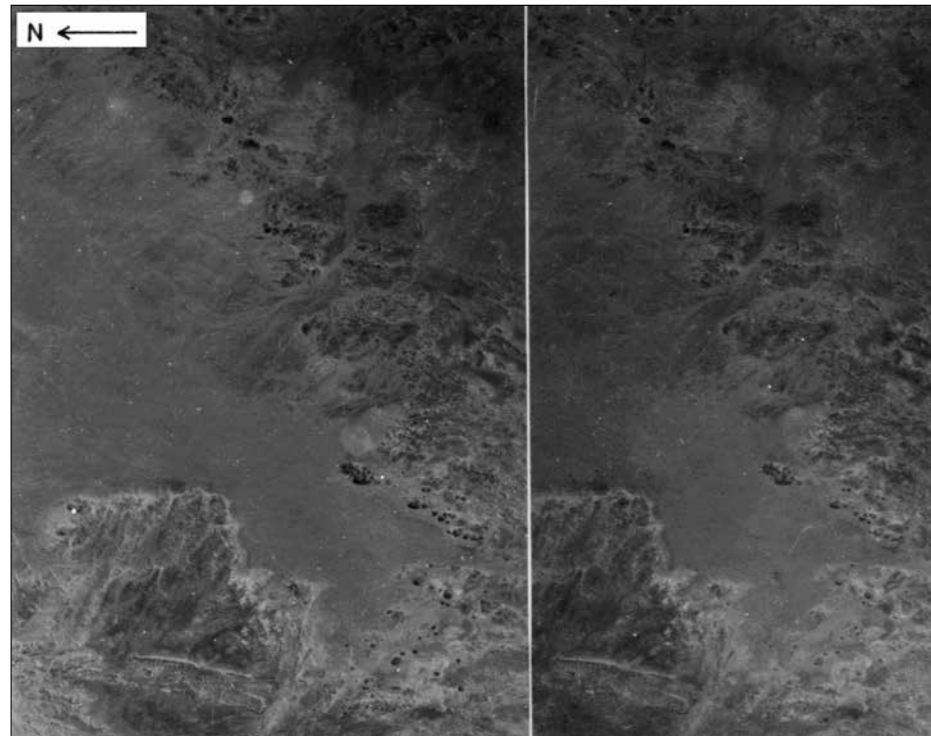


Abb. 27:
Stereomodelld WD 05/5266
– 5267, 18 km südwestl.
El-Gedida

Am unteren Bildrand erheben sich Gesteine der oberen Sandsteinbank über eine Ebene, die von Hangschutt (Entwässerungsspuren) und Shalemateriale der Mut-Formation gefüllt ist. In der oberen Bildhälfte schließen sich die Phosphatbeds an, die jedoch nur an den Flanken von Hügeln anstehen. Am oberen Rand sind die kleinen Erhebungen bereits von der Toplage der Phosphat-Serie bedeckt.

Flächen. Im südwestlichen Bereich geht der harte, weißliche Sandstein in eine Wechselfolge von Siltesteinen, Feinsand- bis Mittelsandsteinen über und dünnt bis auf 3,8 m aus. Durch die starke Verwitterungsresistenz bildet er hier jedoch größere Flächen, die die Fesh-Fesh-Pfanne südlich des Gebel Edmonstone begrenzen und deutlich überragen.

Ein weiteres Verbreitungsgebiet besitzt der Sandstein südwestlich von El-Qalamun. Nach Osten hin dünnt die Sandsteinbank bis auf weniger als 2 m aus und ist nordöstlich der Mut-Oase schließlich nicht mehr kartierbar.

Als typisches Erkennungsmerkmal der oberen Sandsteinbank dient die durch ausbeißende Schüttungskörper hart gestriemte Oberfläche. Die relativ harte Bank, durch eine morphologische Kante hervortretend, bildet den Abschluss der liegenden Mut-Shales, und besonders an der unteren Scarp-Kante und im südlichen Bereich die Basisfläche der im Hangenden folgenden Shales der Phosphat-Serie.

Die untere Grenze ist meist deutlich und daher genau zu kartieren, während die obere Grenze oft durch Shale-Schutt verwischt wird.

Im nördlichen Bearbeitungsgebiet fallen die Oberflächen der Sandsteine leicht in östliche bis nordwestliche Richtungen ein. Südlich der Oasen wird

durch die Richtung des Einfallens die SE-Flanke der Budkhulu Antikline nachgezeichnet (siehe 3.4).

3.3.3 Dakhla-Formation

„Phosphate Series“ und „Dakhla Shale“ (HERMINA et al. 1961)

„Phosphatic Beds“ und „Dakhla Shale“ (SAID 1962)

„Dakhla Shale“ (KLITZSCH 1978)

„El-Hindaw Member, Qur el-Malik Member, Dakhla Shale Member der Dakhla Formation (BISEWSKI 1982)

Phosphat-Serie der Dakhla-Formation

HERMINA et al. (1961) geben für die Basis der „Phosphate Series“ ein bis zwei fossilhaltige Kalkbänder an („Neaera Bed“), auf die eine gipshaltige Shale-Sektion mit Mudstone, glaukonitischen Sand- und gipsigen Kalkeinschaltungen folgt, und in deren oberem Drittel sich die Phosphat Beds mit zwei bis drei Hauptbändern befinden. Die Phosphat-Serie hat im Bereich von El-Qasr eine Mächtigkeit von 18 m bis 23 m. Westlich und östlich dünnt sie jedoch bis auf 10 m aus. Den Abschluss bilden drei bis fünf weiße, kalkige Mudstones und 0,5 m bis

2,0 m braune, gelegentlich silikatische Kalke.

SAID (1962) beschreibt die „Phosphatic beds“ als Wechselfolge von braunen, phosphatischen Koproolithbändern und laminierten Shale-Sektionen, die von einem harten braunen, silizischen Kalk (1,0 m) abgeschlossen werden.

BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) stellen die Phosphat-Serie in das „El-Hindaw Member“ der Dakhla-Formation. Diese Folge wird an der Basis von einem weißlichen Sandstein mit zwischengeschalteten Tonen eingeleitet, der jedoch in der vorliegenden Interpretation als „obere Sandsteinbank“ der Mut-Formation ausgehalten wird. Die Autoren beschreiben den Hauptteil des 48 m mächtigen El-Hindaw Members als graue Tone mit Sandsteinlagen, die zwischen 0,3 m und 2,0 m variieren. Einige dieser Sandsteinbänder sind mit glaukonitischen und phosphatischen Körnern versehen, während andere mit Fossilien (vorwiegend Austern) überfüllt sind. Am Top befinden sich einige Meter beige-farbenen Sandsteins, in den rötliche Sandstein-Kanalfüllungen eingeschlossen sind, die aber auch flächenhaft auftreten können.

Die Luftbildinterpretation hält den Teil der beschriebenen Phosphat-Serie aus, der durch überwiegenden Shale-Anteil charakterisiert wird. Die von BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) beschriebenen weißlichen Basissande fallen ebenso wenig darunter, wie die von HERMINA et al. (1961) und SAID (1962) erwähnte harte silizische Toplage.

Die überwiegend weiche Phosphat-Serie, die wegen ihrer phosphathaltigen Anteile von besonderem Interesse ist, kann nur im Luftbild identifiziert werden, weil sie von relativ harten, kantenbildenden Schichten (Liegendes: obere Sandsteinbank; Hangendes: Toplage der Phosphat-Serie) begrenzt wird. Während HERMINA et al. (1961) die Phosphat-Serie aufgrund ihres Fossilinhaltes (Tab. 5) in das untere Maastricht stellen, deduzieren BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) mittleres bis spätes Campan, weil sie das hangende „Qur el-Malik Member“ auf das späte Campan datieren.

Die Phosphat-Serie tritt immer als Begleiter der markanten harten Toplage auf, durch die sie vor der Erosion geschützt wird. Dementsprechend ist sie in der Kartierung an der Basis der unteren Kante ver-

Tab. 5: Fossilinhalt der Phosphat-Serie

a) Fauna des unteren Maastricht nach HERMINA et al. (1961)

- kleine Einzelkorallen
- *Echinobrissus sp.*
- *Trigonoarca multidentata*
- *Inoceramus regularis*
- *Cytherea sp.*
- *Roudaireia mutensis*
- *Roudaireia dakhleensis*
- *Ostrea nicaisi*
- *Ostrea villei*
- *Ostrea forgemoli*
- *Lucina sp.*
- *Cardita sp.*
- *Pecten farafrensis*
- *Neaera sp.*
- *Plicatula achersoni*
- *Voluta stromboides*
- *Bostrychoceras sp.*
- Haifischzähne
- Fischvertebraten

b) Fauna der „Phosphatic Beds“ nach SAID (1962)

- *Neaera aegyptiaca*
- *Plicatula aschersoni*
- *Inoceramus regularis*
- *Trigonoarca multidentata* u. a.
- sowie fossile Kotballen, Knochenreste und Vertebraten und Fischzähne der Gattungen: *Lamna libyca*, *Otodus hiauriculatus*, *Cofax pristodontus*, *Stephanodus splendens*

treten, die wiederum dem eigentlichen Scarphang vorgelagert ist. Östlich von Mut verlagert sich ihr Ausbiss in die Nähe des Scarphanges. Die schützende Toplage verliert hier ihren flächigen Austritt. Im südlichen Bearbeitungsgebiet ist die Serie ebenfalls einer Kante vorgelagert, die durch eine NE/SW streichende Antiklinalstruktur gebildet wird und an ihrer Südflanke eine nach N alternierende Schichtfolge präsentiert.

Die Phosphat-Serie kann im Luftbild eindeutig identifiziert werden, da sie sowohl im Liegenden als auch im Hangenden durch harte Bänke begrenzt wird. Die Serie selbst hat einen überwiegend

weichen Charakter, weil der verwitterungsanfällige Shale-Anteil überwiegt. Einzelne harte Sandsteinbänke (Austernbank) treten als kartierbare (siehe Detailkartierung 1 : 50 000) Ausbisslinien hervor. Dies trifft jedoch nur für den Bereich der Phosphatkante zwischen El-Uweina und El-Qasr zu und mit Einschränkungen (Überdeckung mit Lockermaterial) für den westlichen Rand der Fesh-Fesh-Pfanne. Neben der harten Austernbank sind im Norden des Bearbeitungsgebietes weitere Sandstein- oder Phosphatbänder durch einen feinen Wechsel von hell-dunkel-Tönen im Luftbild sichtbar. Diese Erkennbarkeit beschränkt sich jedoch auf Einzelhügel, deren Hänge nicht zu stark durch Shale-Schutt verdeckt sind. Die Hell-dunkel-Tönung tritt auch flächenhaft auf, wenn sich Bereiche mit oberflächlicher Gipsanreicherung (Shale) oder Phosphatkörnern (Phosphatbeds) abwechseln. Dieser Wechsel ist besonders in südlichen Bereichen auffällig. Die Grenze zu der unterliegenden oberen Sandsteinbank der Mut-Formation ist z.T. nicht klar erfassbar, da Schutt der Shale-Sektionen die Grenze optisch verlegen. Dies erweist sich insbesondere dann nachteilig, wenn einzelnen, der oberen Sandsteinbank aufgesetzten Hügeln die vor Erosion schützende Toplage fehlt. Die fortgeschrittene Verwitterung hat die Reliefunterschiede verringert und lässt eine klare Deutung nicht mehr zu. Es kann sich sowohl um Material der oberen Sandsteinbank als auch (wie kartiert) um Reste der Phosphatbeds handeln.

Top der Phosphat-Serie

HERMINA et al. (1961) beschreiben einen braunen silizischen Kalk, der die Phosphat-Serie zum

Hangenden hin abschließt. SAID (1962) schließt sich dieser Beschreibung an. Die Mächtigkeit gibt er mit einem Meter an. BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) berichten schließlich von Kanalfüllungen rötlichen Sandsteins, die in einem beige-farbenen Sandstein eingeschlossen sind. Auch die hangenden Chalks („Qur el-Malik Member“) werden von ein bis zwei Metern rötlichen Siltsteins unterbrochen. Da sowohl die Kanalfüllungen als auch die rötlichen Siltsteine flächig auftreten können, und aufgrund ihres ähnlichen Reflektionsverhaltens ist im Luftbild eine genauere Unterscheidung unmöglich. Zum Teil wird die Phosphat-Serie auch durch eine braune karbonatische Bank abgeschlossen. Aber sowohl die rötlichen Sand- und Siltsteine, als auch die karbonatische Bank treten als Härtinge auf, d.h. sie bilden morphologische Kanten. Dadurch erweisen sie sich im Luftbild als gut kartierbar. Für ihre Ausscheidung bei der Interpretation spricht besonders die Tatsache, dass sie als Anzeiger der darunter befindlichen Phosphat-Serie dienen, die wiederum von wirtschaftlichem Interesse ist. HERMINA et al. (1961) nehmen aufgrund des Fossilgehaltes der unterliegenden Phosphat-Serie das untere Maastricht als Entstehungszeitraum an. BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) stellen das „El-Hindaw Member“, in dessen oberem Teil die Toplage auftritt, in das mittlere bis späte Campan. Das „Qur el-Malik Member“, dessen rötliche Siltsteine hier ebenfalls als Toplage erfasst wurden, datieren sie aufgrund des Fossilgehaltes auf das obere Campan. Die Toplage der Phosphat-Serie bildet eine Kante von maximal 48 m Höhe, die der 300 m hohen

Tab. 6: Interpretationsschlüssel der Phosphat-Serie

Grauton	stark wechselnd: weißlich – dunkel grau
Morphologische Lage und Form	direkt unter Phosphatstufe, hangbildend, weniger flächenhaft;
Entwässerungsnetz	—
Vegetationsbedeckung	—
Oberflächenstruktur	glatt, Hell-Dunkel-Bänderung
Homogenitätsgrad	sehr schlecht
Relative Härte	weich mit harten Lagen
Klüftigkeitsindex	3,1 pro qkm

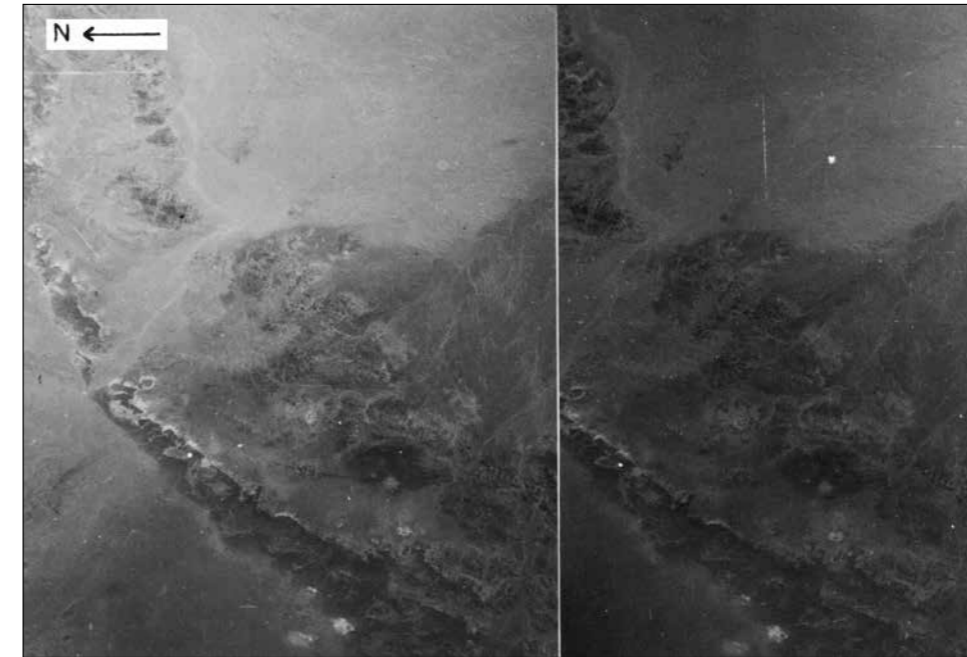


Abb. 28: Stereomodelld WD 05/5263 – 5264, Phosphatkante südlich des Gebel Edmonstone

Die obere Bildhälfte wird von randlichen Bereichen der Fesh-Fesh-Pfanne (Mut Shale) beherrscht. Darunter schließen sich die oberen Sandsteine an, die nach Westen von der Phosphatkante abgeschlossen werden. Die durch tektonische Beanspruchung schräggestellte Toplage der Phosphat-Serie (dunkler Tonwert) taucht unter das Shale-Material der Dakhla-Formation. Einzelne Chalkflecken markieren die Grenze.

Scarpkante südlich vorgelagert ist. Durch ihre Härte tritt sie z.T. als leicht nach Norden einfallende Schicht auf. Sie erreicht eine N/S-Ausdehnung bis zu drei Kilometern. Westlich von El-Qasr teilt sie sich in zwei Bänder. Nördlich der Oase von El-Mawhub tritt sie fleckenartig in Verbindung mit dem Chalk auf. Das Hauptband zieht in südwestlicher Richtung am Gebel Edmonstone vorbei und schlägt an der großen Düne nach Süden um, wobei sich das Einfallen nach Westen dreht. 25 km südlich des Gebels taucht sie wieder flächenhaft mit südöstlichem Einfallen auf, und ihre Ausbisskante

verlässt nach 17 km in östlicher Richtung das Bearbeitungsgebiet. Nordwestlich des Gebel Edmonstone ist ein weiteres Verbreitungsgebiet der Toplage. Hier tritt sie allerdings nicht kantenbildend auf, sondern wechselt sich mit dem Auftreten von Chalk und rezenten Seeablagerungen ab. Es besteht Grund zu der Vermutung, dass es sich hier um die von Barthel & Herrmann-Degen (1981) beschriebenen rötlichen Siltsteine des „Qur el-Malik Member“ handelt. Hervorstechendes Merkmal bei der Kartierung ist die Härte des Materials, die zur Kantenbildung

Tab. 7: Interpretationsschlüssel der Toplage der Phosphat-Serie

Grauton	dunkel
Morphologische Lage und Form	dem Scarphang vorgelagert, bildet bis zu 40 m hohe Stufe, flächenhaft, kleine Einzelhügel;
Entwässerungsnetz	—
Vegetationsbedeckung	—
Oberflächenstruktur	große Rauigkeit
Homogenitätsgrad	sehr gut
Relative Härte	sehr hart
Klüftigkeitsindex	1,8 pro qkm

führt. Als Anzeiger dient weiterhin das Auftreten der markanten weißen Flächen des hangenden Dakhla Chalks.

Die dunklen, geneigten Flächen weisen eine feine, geraute Struktur auf, die sie von den gestriemten Oberflächen der oberen und unteren Sandsteinbank der Mut-Formation deutlich unterscheidet. Im südlichen Verbreitungsgebiet wird die Rauheit gröber, hier ist die Verwitterungsresistenz geringer. Entlang des Scarphanges, nördlich der Oasen, ist die Toplage durch intensive tektonische Überprägung in Schollen gegliedert. Die südlichen Kanten dieser Flächenteile weisen die größte Sprunghöhe auf. Nach Norden nimmt die Höhe ab und wird schließlich von Shaleschutt verdeckt.

Wie bereits erwähnt, eigneten sich die harten Oberflächen hervorragend zu einem Abschätzen der Einfallrichtungen. Die in der geologischen Karte eingetragenen Zeichen unterscheiden zudem flaches und steiles Einfallen. Diese Unterscheidung soll die aufgrund der scherbigen Oberfläche fehlenden

Geländemessungen ersetzen. Im Luftbild sind deutlich geneigte Schollen zu erkennen, die durch tektonische Beanspruchung steiler gestellt sind als die sie umgebenden. Dies trifft besonders für die Bereiche westlich des Budkhulu Promontory und südwestliche des Gebel Edmonstone zu.

Nordwestliche des Gebels verändert sich die Erscheinungsform der Toplage. Hier ist sie nicht mehr kantenbildend, sondern wechselt lateral mit dem Chalk und rezenten Seebodenrelikten. Die Überprägung durch fluviatile Kräfte erschwert die Kartierung. Die Oberfläche besitzt nicht mehr, oder nur selten, ihre Rauigkeit, Phosphatseifen zeigen gleiches Reflektionsverhalten. Die Landschaft ist leicht in nord-südliche Wellen gegliedert, was die Unterscheidung von alt und jung zusätzlich behindert.

Die Abfolge der geologischen Schichten wechselt lateral, was der Kartierung ein fleckenartiges Aussehen verleiht. Es muss damit gerechnet werden, dass hier die von BARTHEL & HERRMANN-DEGEN

(1981) beschriebenen rötlichen Sandsteine, die die Chalkbänder trennen, in den Vordergrund treten. Geländeaufzeichnungen weisen jedoch auch das Auftreten der karbonatischen Bank nördlich der kleinen Oase von Gharb Mawhub nach.

Dakhla Chalk

HERMINA et al. (1961) beschreiben für die Basis der Shale-Sektion 8 m bis 13 m kalkige Mudstones, die sie ins untere Maastricht stellen. SAID (1962) erwähnt 10 m grauen Kalk, der z.T. mergelig ausgebildet ist. BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) beobachteten 14 m weißliche, weiche Kalke und kalkartige Sedimente, die von ein bis zwei Metern rötlichem Siltstein unterbrochen werden. Sie benennen diese Schichtfolge „Qur el-Malik Member der Dakhla-Formation“. Eine Mikroproben-Analyse bewegte die Autoren zu der Annahme eines oberen Campan-Alters. Die Abwesenheit von Rugoglobigerina als Maastricht-Anzeiger und Heterohelicedin als Indikator des obersten Campans bestärkte sie in dieser Annahme.

Für die Ausscheidung des Chalks in der geologischen Karte spricht vor allem das typische Reflektionsverhalten und seine Bedeutung als Indikator der darunter befindlichen Phosphat-Serie. Die Nomenklatur von BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) konnte nicht übernommen werden, da die zwischengeschalteten rötlichen Siltsteine andere photogeologische Merkmale besitzen. Die relativ kleinen Flächen treten auf der nach Norden leicht geneigten Fläche der Toplage der Phosphat-Serie auf. Eine weitere Verbreitung wird im Scarpgelände durch die intensive Schuttbildung des hangenden Shales verhindert.

In dem Bereich der Oase von Ezbet el-Sheikh Saber

el-Mawhub erscheinen sie innerhalb der landwirtschaftlich genutzten Fläche, lateral mit Mud Lions und rötlichen Siltsteinen wechselnd, und in einem südlichen Band, das dem Ausbiss der hier stärker einfallenden Toplage folgt.

Nordwestlich des Gebel Edmonstone sind sie neben der Toplage und rezenten Seeböden kleinflächig vertreten, demgegenüber nehmen sie südwestlich des großen Dünenstreifens relativ große Flächen ein.

Eine weitere Verbreitung finden sie an der südöstlichen Flanke der Budkhulu Antikline, wo sie ebenfalls zwischen einer weichen Shaleregion und der kantenbildenden Toplage der Phosphat-Serie auffallen.

Obwohl das typische Reflektionsverhalten der Chalkflächen eine Fehlinterpretation weitgehend ausschließt, ist die eindeutige Ansprache von im Tonwert leicht getrübbten Flecken nicht immer möglich. So ist, insbesondere im Oasenbereich, eine Verwechslung mit Salzausblühungen infolge von Überwässerung denkbar. Auch oberflächlich auftretende Gipsplättchen können einen ähnlichen Reflektionsgrad entwickeln. Derartige Fehleinschätzungen, die während der Vorinterpretation z.B. zu der Annahme von verschiedenen Chalkbändern im Hangbereich des Gebel Edmonstone führten, konnten erst durch die Geländebegehung ausgemerzt werden.

Dakhla Shale

HERMINA et al. (1961) beschreiben für den Raum Dakhla 55 m bis 90 m Shale des unteren Maastricht und weitere 40 m bis 62 m des mittleren Maastricht, die im mittleren Teil ein bis mehrere fossilreiche Toneinschaltungen, vor allem mit

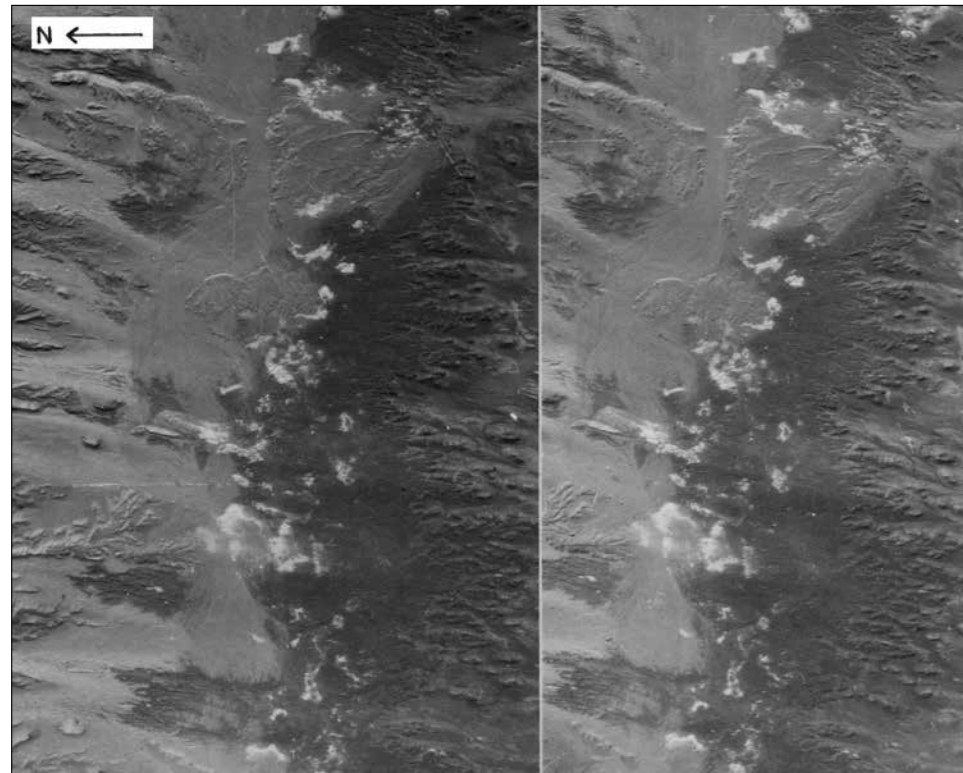


Abb. 29: Stereomodell WD 01/4759 – 4760, 5 km östlich von Bir el-Dinaria

Am rechten Bildrand begrenzt die stark zerfurchte Phosphatkante das südliche Vorland und das zerrackelte Gebiet der Toplage. Die weißen Chalkflecken markieren den Randbereich des Dakhla-Shales, der die Hügel in dem hellen Lockermaterialbereich aufbaut. Die dunklen Partien im Scarpvorland werden durch kleine Senken mit Seebodenrelikten gebildet, in denen längliche „Mud Lions“ erkennbar sind.

Tab. 8: Interpretationsschlüssel des Dakhla Chalk

Grauton	weiß bis weißlich
Morphologische Lage und Form	auf der Fläche der Toplage, ebene, kleine Flecken;
Entwässerungsnetz	—
Vegetationsbedeckung	—
Oberflächenstruktur	glatt, hellgraue Sprengel
Homogenitätsgrad	gut
Relative Härte	weich
Klüftigkeitsindex	Flächen sind zu klein

Exogyra overwegi aufweisen. Die Shales des oberen Maastricht, an deren Basis Mudstone Beds alternieren, gliedern die Autoren in zwei Faunenzonen:

1. untere Zone: *Pholadomya lucerna*;
2. obere Zone: *Trigonoarca gauldrina*, *Cardita dakhlensis*;

Die obere Zone fehlt östlich von Ismant, dort liegt eine 10 m Shale-Sektion des mittleren Dan diskordant auf der unteren Zone. Nordwestlich von Ismant liegen die Shales des unteren Dan konkordant auf der oberen Zone. Das Einsetzen der Kalksedimentation stellen HERMINA et al. (1961) in das mittlere Dan.

Die Beschreibungen von SAID (1962) weichen nicht wesentlich von den obigen ab. Auch er erwähnt die fossilreichen Mergel- oder Kalkzwischenlagen, die er ebenfalls zur Gliederung der sonst eintönigen Shale-Sektion benutzt.

BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) haben das „Dakhla Shale Member“ in einem Profil zum Gebel Gifata (nördlich von Mut) untersucht. Sie stellen die kalkige Basis und die alternierenden Mergel und Tone aufgrund von Bestimmungen der hereromorphen Ammonitenfauna in das oberste Campan.

Schwarze bis grüne Tone mit Zwischenschaltungen von bräunlichen Siltsteinen (*Exogyra overwegi*) liegen unter graugrünen Tönen mit einigen glaukonit- und phosphoritführenden Sandsteinbändern. Darüber schließt sich der „Bir Abu Minqar Horizont“ an, der aus zwei Bändern kalkigen, fossilreichen Sandsteins mit einigen Metern Ton als Zwischenlage besteht. Gräuliche Tone, die zum Hangenden zunehmend schieferartig ausgebildet sind, und ein

weiteres Band von glaukonitischem Sand mit Phosphoritkörnern, unmittelbar unter der in das frühe Mont datierten Tarawan-Formation, runden das insgesamt 260 m umfassende Profil ab (BARTHEL & HERRMANN-DEGEN 1981).

Die Dakhla Shales sind hauptsächlich am Hang des Tarawan Scarps vertreten. Außerdem bilden sie im Sattelbereich zwischen der Triangular Mass (Inselberg mit schmaler Verbindung zum Plateau nördlich des Gebel Edmonstone) und dem Gebel Edmonstone größere Flächen. Aber auch hier sind sie stark verwittert und durch Entwässerungslinien zergliedert.

Westlich des großen Dünenzuges zeigt eine weiche Stufe mit vorgelagerter Ebene die typischen Eigenschaften des Shale-Materials. 15 km südlich der Oasen um El-Gedida bildet der Dakhla Shale eine leicht nach Norden geneigte Fläche. Durch ein Band von fleckenartig auftretendem Chalk wird er von der Toplage der Phosphat-Serie getrennt.

Die photogeologische Kartierung kann sich nur auf die beiden charakteristischen Grenzschichten verlassen, den Chalk an der Basis und den Tarawan-Kalk im Hangenden. Die Shale-Folge dazwischen gibt wenig verlässliche Hinweise, die eine Identifizierung ermöglichen würde. Der fortschrittliche Verwitterungsgrad und die intensiven Rutschungen von Kalkkonglomeraten des Plateaubereiches lassen unter stereoskopischer Betrachtung den Eindruck von Lockermaterialien vorherrschen. Wenn die Dakhla Shales ebene Flächen bilden, wie z.B. südwestlich des Gebel Edmonstone, zeigen sie einen dunklen Tonwert, der durch Sandüberwehung oftmals aufgehellt wird. Der weiche Charakter

Tab. 9: Interpretationsschlüssel des Dakhla Shale

Grauton	mittelgrau bis dunkel, durch Lockermaterial auch hell
Morphologische Lage und Form	bildet den Hang unter dem Kalkplateau, weiche, z.T. Steile Flanken
Entwässerungsnetz	kurze Entwässerungsrinnen nach Süden
Vegetationsbedeckung	z.T. von Oasen bedeckt
Oberflächenstruktur	weich, glatt
Homogenitätsgrad	mittelmäßig
Relative Härte	sehr weich
Klüftigkeitsindex	4,3 pro qkm

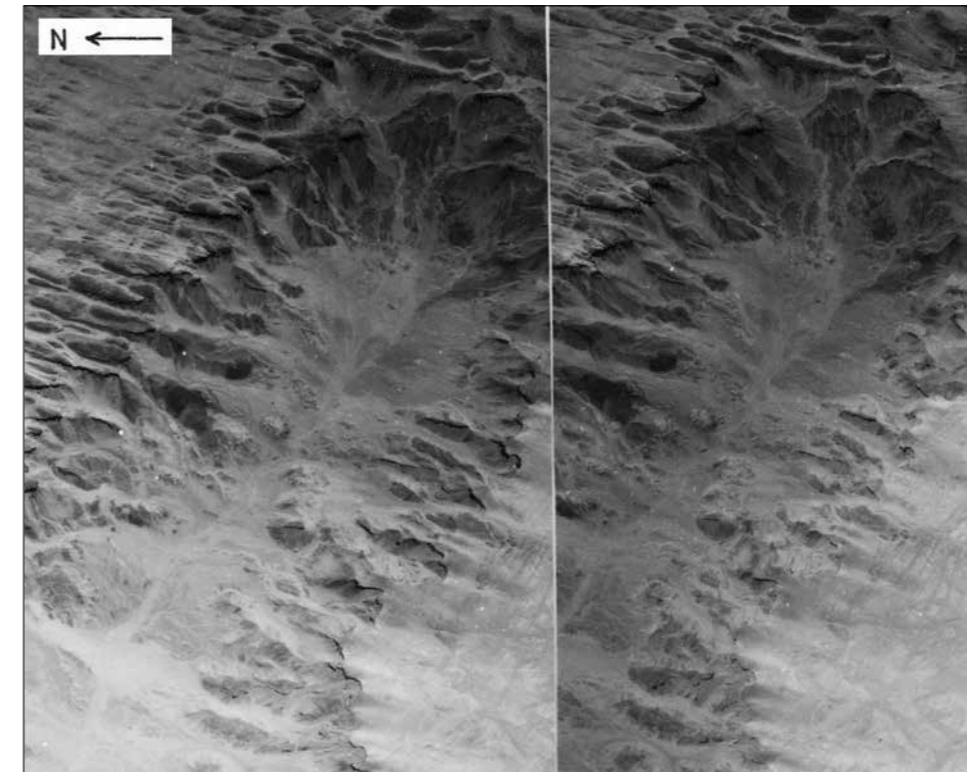


Abb. 30: Stereomodell WD 05/5259 – 5260, 9 km nördlich des Gebel Edmonstone

Die Hänge des abgebildeten Hochtals werden durch den Shale der Dakhla-Formation gebildet. Den Abschluss bilden die Kalke der Tarawan-Formation, die rechts unten einen Inselberg bedecken und links oben durch ein ausgeprägtes Windrelief strukturiert sind.

lässt eine Trennung von den Lockermaterialien nicht zu, nur das Auftreten der hellen Chalkflecken erlaubt die Grenzziehung zum Liegenden.

Für die Detailkartierung 1 : 50 000 wurde eine erweiterte Klassifizierung gewählt. Da der größere Maßstab eine genauere Unterscheidung von Anstehendem und Lockermaterial zugelassen hätte, diese Unterscheidung aber nicht sinnvoll ist, da der Shale einen sehr niedrigen Härtegrad besitzt und überwiegend in lockerem Zustand auftritt, wurde der Dakhla Shale mit Hang- und Plateauschutt zusammengefasst.

3.3.4 Tarawan-Formation

„Chalk“ (HERMINA et al. 1961; SAID 1962)
 „Tarawan-Formation“
 (BARTHEL & HERRMANN-DEGEN 1981)

Für den Bereich nordwestlich von Ismant geben HERMINA et al. (1961) 1,5 m bis 4,0 m Kalke des mittleren Dan an, auf die nochmals eine Shale-Sektion folgt. Noch weiter westlich liegt der „upper Chalk“ auf zehn Metern Shale, ebenfalls mittleres Dan. Nach Osten hin dominieren harte, dichte,

fossilreiche Kalke, deren Mächtigkeit mindestens 11 m bis 35 m betragen.

SAID (1962) beschreibt 20 m bis 50 m schnee-weißen, z.T. aber nicht so reinen Chalk, der über dem Dakhla Shale liegt und leicht nach Norden einfällt. BARTHEL & HERRMANN-DEGEN (1981) erwähnen, dass die Tarawan-Formation nach einer Sedimentationspause mit einem Transgressionskonglomerat mit Phosphorit-, Glaukonit-, Sandstein-, Quarz- und Haifischzähnen-Anteilen beginnt, auf das weiße Kalksteine und Chalks folgen. Sie datieren die Basis der Formation im Bereich des Gebel Gifata in das frühe Mont.

Die Tarawan-Formation bildet mit ihren harten Kalken das Plateau nördlich der Oasen. Außerdem tritt sie als Deckel der Triangular Mass und des Gebel Edmonstone auf.

Die Erscheinungsform der Tarawan-Formation ist sehr unterschiedlich und abhängig von lithologischen Differenzen. Im allgemeinen sind die Schichten leicht nach N geneigt. Die austretenden Schichtköpfe bilden Stufen unterschiedlicher Sprunghöhe. Im zentralen Plateaubereich sind diese Ausbisskanten durch ein intensives Windrelief zergliedert, sie besitzen ein WWN-EES-Streichen,

im westlichen Teil laufen sie parallel der heutigen Scarpkante.

Folgende Oberflächentypen können unterschieden werden:

- A glatte Streudeckenfläche
- B Shale-Bereich mit Einzelhügeln
- C Karst-Bereich mit Zellenstruktur
- D Windrelief
- E Schichtstufenregion mit Entwässerungsrinnen

Zu A:
Glatte, durch „in situ“ Verwitterung entstandene Oberflächen prägen den Gebel Edmonstone und das Budkhulu Promontory. Während der Inselberg keine oder kaum Reliefunterschiede zeigt, wird der südliche Teil des Promontory durch drei bis vier ungefähr W/E streichende Kanten charakterisiert. Diese Stufen weisen eine helle Abbruchlinie auf, die auch im RBV erkennbar ist.

Zu B:
Das Hochtal, östlich von Bir el-Denaria, setzt sich auf dem Plateau in einem etwas tiefer gelegenen Bereich fort, der durch weiches Material charakterisiert wird und aus dem einzelne, in N/S-Richtung langgestreckte Hügel herausragen. Es muss sich hier um den Austritt der Shale-Sektion handeln, die die 1,5 m bis 4,0 m mächtigen Basiskalke überlagert (Hermina et al. 1961).

Zu C:
Der Shale-Bereich wird nach Norden von einem Landschaftstyp mit Karsterscheinungen abgelöst. Die Oberfläche wird durch helle Klüftfüllungen, die parallelogramm-förmige Sackungsgebiete umschließen, charakterisiert. Diese Zellenstrukturen

werden nach W hin kleiner, die Oberfläche erscheint zunehmend rauher.

Zu D:
Im Westen schließt sich ein Gebiet an, das durch die intensive Tätigkeit des Windes geprägt wird. Die Oberfläche ist in N/S streichende Hügelreihen und -ketten zerlegt. Querrinnen deuten den Materialwechsel der austretenden Schichten an. Nordwestlich der Triangular Mass sind gebogene bis ringförmige, striemenartige Strukturen erkennbar. Möglicherweise handelt es sich hierbei um Riff-Strukturen.

Zu E:
Im äußersten Nordosten des Bearbeitungsgebietes schließt sich an das Karstgebiet eine Schichtstufenlandschaft an. Der Übergangsbereich wird von einer dunklen Fläche gebildet, auf der ebenfalls zellenartige Strukturen zu beobachten sind. Die Formen zeigen jedoch einen Richtungswechsel nach Norden, und die Umrisse sind nicht mehr eckig, sondern oval und ellipsenförmig. Die nördlichen Schichtstufen sind durch eine Hell-dunkel-Bänderung im RBV erkennbar.

3.3.5 Quartäre Ablagerungen und Oasenflächen

In der Dakhla-Region sind keine Tertiär-Sedimente jünger als das unterste Eozän vertreten (HERMINA et al. 1961). Es besteht also Grund zu der Annahme, dass die Küstenlinien des späten Tertiärs dieses Gebiet nicht mehr erreichten. So setzte bereits im Oligo-Miozän die Erosion ein und

Tab. 10: Interpretationsschlüssel der Tarawan-Formation

Grauton	Mittel, an Kanten weißlich, dunkle Streudecken
Morphologische Lage und Form	Plateaufläche und Steilstufe, schichtstufenartig nach N einfallend;
Entwässerungsnetz	Nach Norden entwässernd, deutlich durch Klüftung beeinflusst;
Vegetationsbedeckung	————
Oberflächenstruktur	Windrelief in unterschiedlichen Größenordnungen, auch glatte Flächen
Homogenitätsgrad	mittelmäßig
Relative Härte	Sehr hart bis hart
Klüftigkeitsindex	Materialbedingt: 2,0 pro qkm bis 5,5 pro qkm

bewirkte vor allem die Verwitterung der höher gelegenen Partien, was im Laufe der Zeit zu einer Reliefumkehr führte.

Seeablagerungen

Im Pleistozän setzten heftige Regenfälle ein, es bildeten sich Entwässerungsströme, die ebenfalls dazu beitrugen, das heutige Bild des Scarps zu prägen. Am Fuße des 300 m hohen Hanges finden sich heute noch ehemalige Seeböden, tonige bis sandig-tonige Ablagerungen, für die Süßwasser-Gastropoden beschrieben werden (HERMINA et al. 1961). Durch die nach Trockenfallen einsetzende starke Winderosion wurden die Seeböden ausgeblasen. Durch geringfügige Material- und Festigkeitsunterschiede entstanden eindrucksvolle Formen, die sogenannten „Mud Lions“.

Ihr Hauptverbreitungsgebiet befindet sich am Fuße der Steilstufe. Dort treten sie vereinzelt als kleine, maximal einen Kilometer lange Flecken auf. Größere Verbreitung finden sie in der Nähe der nördlichen Oasen, denn durch ihre geringe Permeabilität sind sie hervorragend zur Anlage von landwirtschaftlichen Nutzflächen geeignet.

Im Bereich der Oase von Gharb Mawhub bilden sie große Ebenen, an deren Randbereich eine laterale Vermischung von Chalk-Resten, Phosphatseifen und Mud Lions zu bemerken ist.

Die Luftbildkartierung stützt sich vor allem auf die meist glatte, ebene Oberfläche, der längliche Einzelformen aufgesetzt sind. Der Tonwert ist meist dunkler als der des umgebenden Shales oder des Lockermaterials. Eine eindeutige Kartierung vor allem im Bereich der Oasen ist jedoch nicht möglich.

So treten wiederholt kleine rundliche Hügel auf, die an der Oberfläche intensiv zerfurcht sind. In der Nähe von Budkhulu wurden solche Formen als Seebodenrelikte kartiert, da der Shale eher durch weiche Formen charakterisiert wird.

Die Mut-Oase ist von einem Gebiet umgeben, in dem Lockermaterialien dominieren. Eine Kartierung von Seeböden war hier nicht möglich, es muss aber mit ihrer Existenz gerechnet werden.

Kalkkonglomerate

Im Hangbereich lassen sich längliche, nach Süden, in der natürlichen Gefallsrichtung geneigte Körper beobachten, die den Shale vor der totalen Erosion schützen. Diese Kalkkonglomerate besitzen eine Mächtigkeit von ein bis zwei Metern, auf dem weichen Shale-Untergrund „kriechen“ sie zu Tale. Die weitesten Vorläufer sind häufig auch unmittelbar in Oasennähe anzutreffen.

Das Verbreitungsgebiet findet sich in dem Hangbereich. Entlang des Scarps sind sie kettenförmig aneinandergereiht. Die Längsachse zeigt in die Richtung des Gefälles. Der Gebel Edmonstone zeigt besonders an seiner südlichen Flanke viele dieser Konglomerate. Hier ist die Fallhöhe größer als am nördlichen Hang, der eine Sattelfläche begrenzt. Auch am nördlichen Rand der Fesh-Fesh-Pfanne wurden drei konglomeratische Körper kartiert. Sie überragen den Shale-Untergrund und zeigen weichere Formen als der obere Sandstein der Mut-Formation. Ihre relative Härte ist aber geringer, das mag an der intensiveren Vermischung von Plateau- und Shale-Material liegen.

Nordwestlich des Sattels zwischen dem Gebel

Tab. 11: Interpretationsschlüssel der Seeablagerungen

Grauton	hell bis sehr dunkel
Morphologische Lage und Form	kleine Senken am Hangfuß, auch größere Flächen in Oasennähe;
Entwässerungsnetz	————
Vegetationsbedeckung	landwirtschaftliche Nutzflächen, versprenkelte natürliche Vegetation;
Oberflächenstruktur	in der Regel glatt, z.T. Mud Lions
Homogenitätsgrad	gut
Relative Härte	weich
Klüftigkeitsindex	————

Tab. 12: Interpretationsschlüssel der Kalkkonglomerate

Grauton	mittelgrau bis sehr dunkel
Morphologische Lage und Form	schräg geneigte flache Pakete, z.T. direkt unter der Kante ansetzend
Entwässerungsnetz	sehr kleine Rinnen
Vegetationsbedeckung	_____
Oberflächenstruktur	glatt, z.T. Mikrorelief
Homogenitätsgrad	mittelmäßig bis schlecht
Relative Härte	hart
Klüftigkeitsindex	zu kleine Flächen

Edmonstone und der Triangular Mass haben intensive fluviatile Kräfte ihre Spuren hinterlassen. Neben den relativ großflächigen Kalkkonglomeraten tauchen auch Schwemmfächer auf, die nachträglich von Dünenansanden bedeckt wurden.

Photogeologisches Hauptkriterium ist neben der Härte auch die in Gefällsrichtung diskordante Überlagerung des Shales. Es wird davon ausgegangen, dass es sich um pleistozäne Flusskonglomerate handelt. Durch die intensive Verwitterung unterlagen auch sie einer Reliefumkehr.

Unter stereoskopischer Betrachtung der Luftbilder lassen sich zudem mindestens drei verschiedene Konglomerat-Niveaus unterscheiden. Die untersten finden sich vorwiegend im tieferen Bereich des Hanges, wo sie relativ flach lagern. Im mittleren und obersten Niveau des Hanges erreichen die Konglomeratpakete eine stärkere Neigung.

In der Kartierung wurden diese Höhenlagen jedoch nicht unterschieden, da der Maßstab 1 : 100 000 zu klein für diese differenzierte Gliederung ist und die Geologie mit dem Anstehenden im Vordergrund steht.

Dünen und Sandfahnen

Die Dünen und Sandfahnen sind jüngeren Datums als die Sedimente der pleistozänen Feuchtperiode, da sie diese überlagern.

Die z.T. starke Ansammlung von Sanden macht Rückschlüsse auf den geologischen Untergrund oft unmöglich, eine Ausscheidung der Sande ist deshalb auch für eine geologische Karte relevant.

Durch die Anlagerung und Form der Dünen sind außerdem indirekte Aussagen über Wind- und Transportrichtung und morphologische Bedingungen möglich. Für die Geländebefahrbarkeit erweisen sie sich oft als Hindernis, weshalb sie auch dem topographischen Inhalt der Kartierung zugeordnet werden können.

Die Sandfahnen sind vorwiegend an der südlichen Flanke des Steilhanges vertreten. Sie setzen meist unmittelbar an der Kante an und bilden stellenweise einen geeigneten Untergrund für die Besteigung des Plateaus (alter Kamelpfad nach Farafra über Bab el-Gasmund).

Die Dünenzüge sind meist nord-südlich

Tab. 13: Interpretationsschlüssel der Dünen und Sandfahnen

Grauton	Sehr hell
Morphologische Lage und Form	Sandfahnen vorwiegend an Scarpkante, Dünenfelder und Einzelbarchane bilden Erhebungen;
Entwässerungsnetz	_____
Vegetationsbedeckung	Dünentäler z.T. mit versprenkeltem Grün
Oberflächenstruktur	Sandfahnen und Einzeldünen glatt, Felder mit gewellter Oberfläche;
Homogenitätsgrad	_____
Relative Härte	_____
Klüftigkeitsindex	_____

Tab. 14: Interpretationsschlüssel für Lockermaterialien, undifferenziert

Grauton	hell bis sehr hell
Morphologische Lage und Form	Sandfläche, Schwemmfächer, Streudecke, Schotterfläche, selten Shale-Schutt;
Entwässerungsnetz	im Hangschutt und in Schwemmfächern kleine Rinnen
Vegetationsbedeckung	sehr selten versprenkelte Vegetation
Oberflächenstruktur	glatt bis geriffelt
Homogenitätsgrad	_____
Relative Härte	_____
Klüftigkeitsindex	_____

ausgerichtet, und durch ihr dynamisches Wesen erweisen sie sich als Hindernis für Verkehrswege und landwirtschaftliche Nutzflächen.

Lockermaterial, undifferenziert

Neben den Sandfahnen und Dünen wurden weitere Lockermaterialien unterschieden, wenn sie keine Rückschlüsse auf den geologischen Untergrund zulassen. Dies trifft für die Hangschotter des Scarps ebenso zu, wie für Sandflächen südlich der Mut-Oase und westlich des großen Dünenzuges. Wadigerolle bieten durch ihre Form und Anordnung zudem die Möglichkeit, auf das Relief zu schließen.

Oasenflächen

Die Oasen gehören zum topographischen Inventar der Kartierung. Da sie große Flächen bedecken, ist nur ein indirekter Rückschluss auf den geologischen Untergrund möglich. Sie sind vorwiegend auf den Shales der Mut- und Dakhla-Formation

angelegt, insbesondere weil sich hier die Seeablagerungen des Pleistozäns befinden, und der Shale als Stauhohizont tieferer Wasservorräte fungiert.

3.4 Tektonische Ergebnisse

Nach HERMINA et al. (1961) kann die Dakhla-Region als breite Syncline bezeichnet werden, die in Nordost-Südwest-Richtung den nördlichen Ausläufern der Nubischen Aufwölbung vorgelagert ist. Die Achse der Syncline liegt ungefähr bei dem Oasenhauptort Mut, wo sie in nordöstlicher Richtung mit weniger als 1° abtaucht. Darüberhinaus wird die Dakhla-Region von weiteren Synklin- und Antiklin-Strukturen geprägt, die unterschiedlich stark ausgebildet sind und ebenfalls eine NE/SW-Richtung einnehmen.

So weist die Budkhulu Antikline an ihren Flanken Fallwerte von 3° bis 5° auf. HERMINA et al. (1961) datieren die Anlage der Faltenstrukturen in den Zeitraum noch vor Ablagerung der

Tab. 15: Interpretationsschlüssel für Oasenflächen

Grauton	Dunkel bis schwarz
Morphologische Lage und Form	Tief gelegene Ebenen und Senken
Entwässerungsnetz	Kanalstrukturen
Vegetationsbedeckung	Landwirtschaftliche Flächen
Oberflächenstruktur	Rechteckige Feld- und Kanalstrukturen, Palmengärten mit Mikrostruktur;
Homogenitätsgrad	_____
Relative Härte	_____
Klüftigkeitsindex	_____

Taref- und Mut-Formation. Im unteren Maastricht wurde die Ausbildung während der Sedimentation der Phosphat-Serie verstärkt. Die Kalke der Tarawan-Formation wurden in das bestehende Relief abgelagert und vom Eozän bis heute erodiert, was eine Reliefumkehr zur Folge hatte.

Störungen unterschiedlicher Ausmaße sind vorwiegend an den Flanken der Faltenstrukturen zu finden, während andere bedeutende Lineationen im Bereich des Gebel Edmonstone in vorwiegend E/W-Richtung und westlich des Budkhulu Promontory in NW/SE-Richtung verlaufen.

Die Bearbeitung der Tektonik stützt sich auf Luftbildinterpretations-Ergebnisse, da der starke Verwitterungszustand der Gesteine Geländemessungen kaum ermöglichte.

Als für ein Abschätzen der Fallrichtungen geeignete Leitbank erwies sich die Toplage der Phosphat-Serie. Ihr umlaufendes Streichen und Fallen unterstreicht die von HERMINA et al. (1961) erwähnten Antiklin- und Synklin-Strukturen.

Störungen und Klüfte markieren sich im Luftbild

durch geradlinigen Wechsel in Grauton, Strukturierung, relativer Härte, sowie in der morphologischen Ausbildung. Ein abrupter geologischer Materialversatz wird als Schwächezone im Gesteinsverband oft tiefgründig verwittert und somit im morphologischen Erscheinungsbild betont.

Die Unterscheidung in Störungen und Klüfte erfolgt

- nach der Länge der Struktur (Grenzwert = 1 km),
- nach dem Versatz (Störung = meist mit Versatz, Klüfte = ohne erkennbaren Versatz),
- nach dem Verwitterungsgrad (Störung = stärker und tiefgründig verwittert; Kluft = oberflächlich verwittert).

Die Differenzierung von Störungen und Klüften erfolgte auf der Kalkplateaufäche nach einer Sonderregelung, da eine Vielzahl von geradlinigen Strukturen mit mehr als 1 km Länge beobachtet wurden. Von tiefgründiger Verwitterung kann man nicht sprechen, da es sich um karstartige Zellensstrukturen handelt.

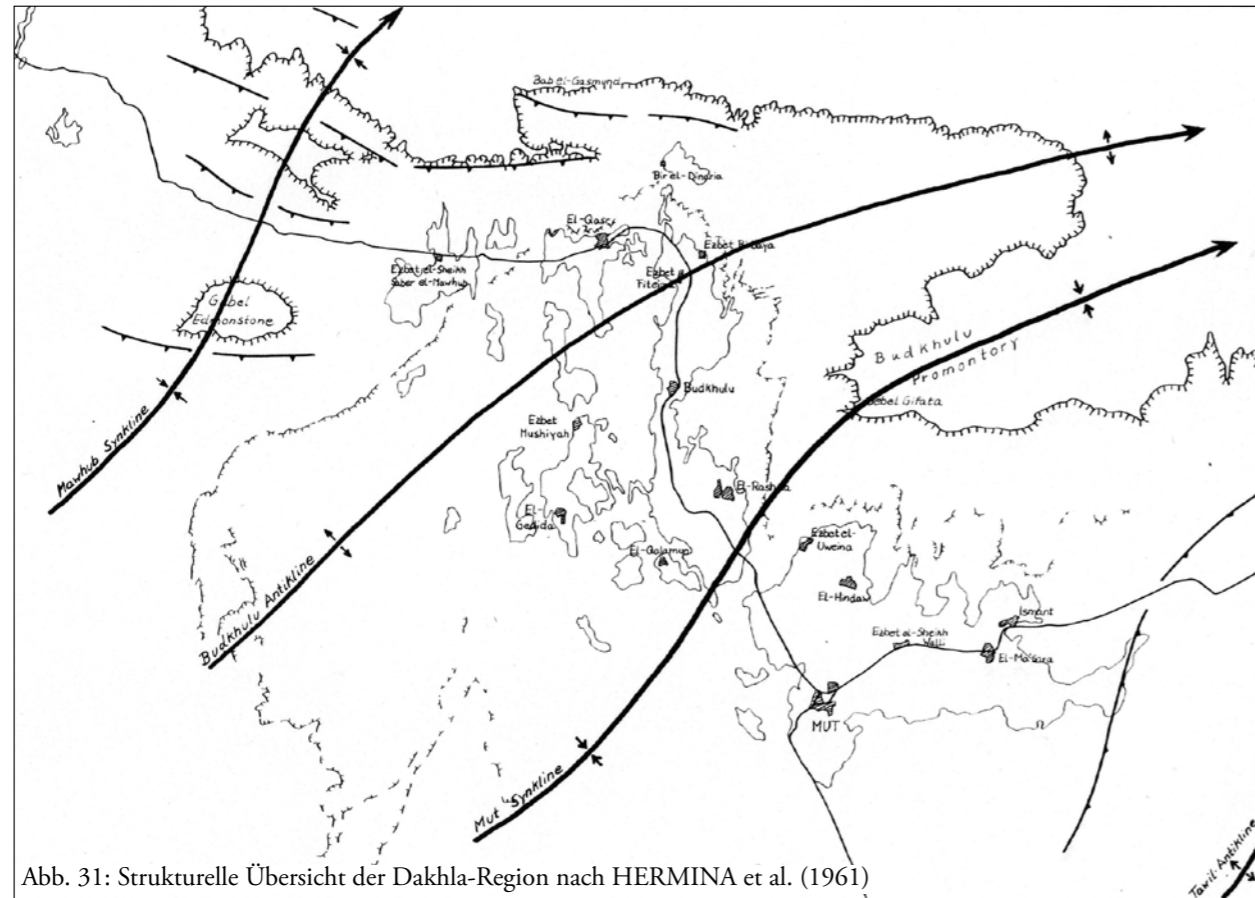


Abb. 31: Strukturelle Übersicht der Dakhla-Region nach HERMINA et al. (1961)

Um Hauptrichtungen der tektonischen Beanspruchung zu erfassen, wurden die Photolineationen digitalisiert und in Klüftrosen und Histogrammen nach Länge und Richtung sowie nach Anzahl und Richtung dargestellt. Um Aussagen über den Grad der Beanspruchung in verschiedenen stratigraphischen Zonen zu ermöglichen, wurden drei Bereiche getrennt bearbeitet:

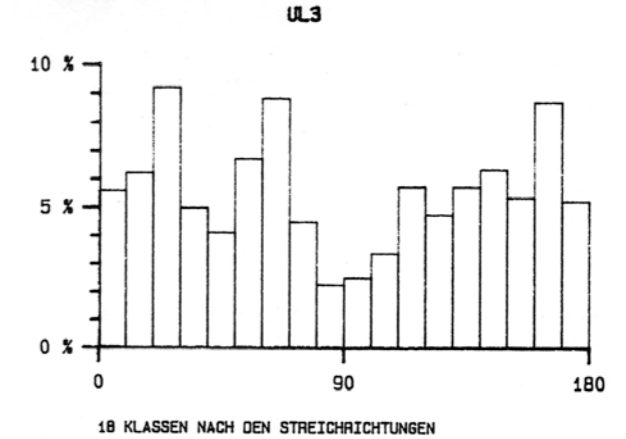
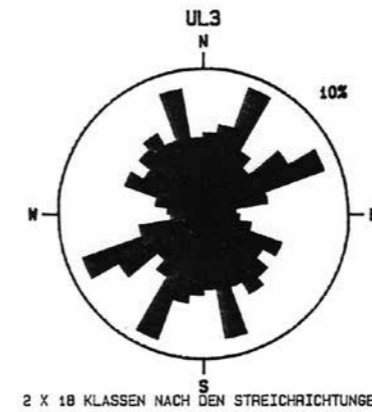
- TAREF- UND MUT-FORMATION = UL 3
- DAKHLA-FORMATION = UL 2
- TARAWAN-FORMATION = UL 1

TAREF- UND MUT-FORMATION

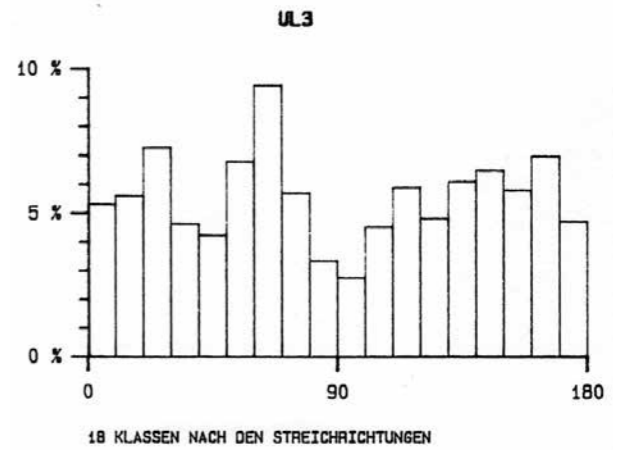
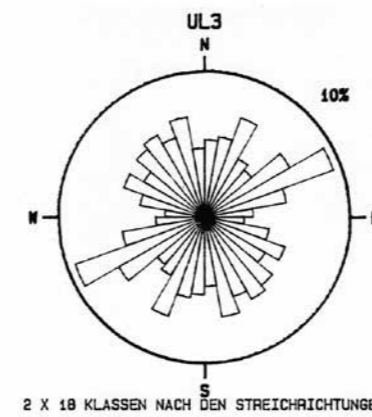
Die Auswertung nach Länge und Richtung der Photolineationen ergibt drei etwa gleichwertige Maxima (Tab.16 a1 und a2):

- NNE/SSW (20 – 30 Grad),
- NE/SW (60 – 70 Grad),
- SSE/NNW (160 – 170 Grad).

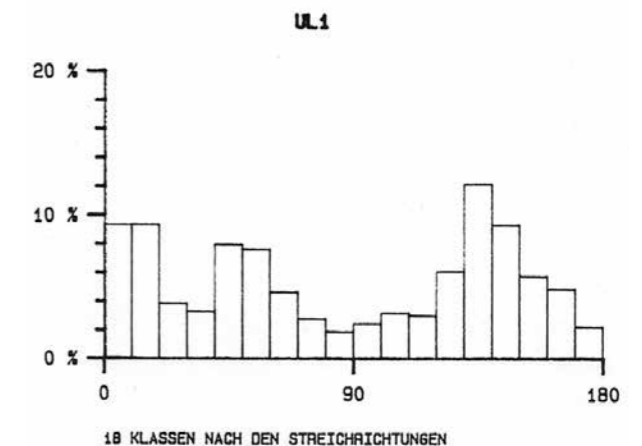
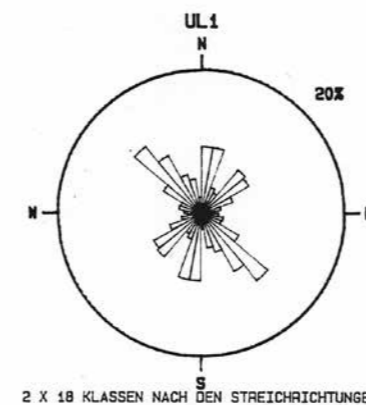
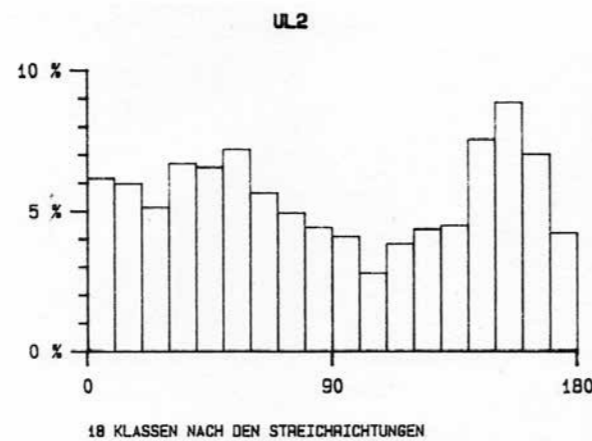
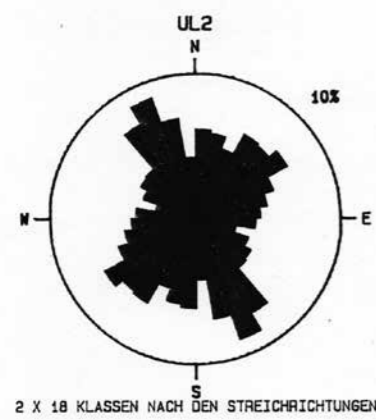
Die Darstellung nach Anzahl und Richtung (Tab. 16 b1 und b2) zeigt ein Maxima in der Klasse von 60 – 70 Grad Streichrichtung. Das heißt, in der Hauptmenge handelt es sich um überwiegend kürzere Klüfte und Störungen.



Tab. 16a1 und a2: Länge der Photolineationen im Bereich Taref- und Mut-Formation

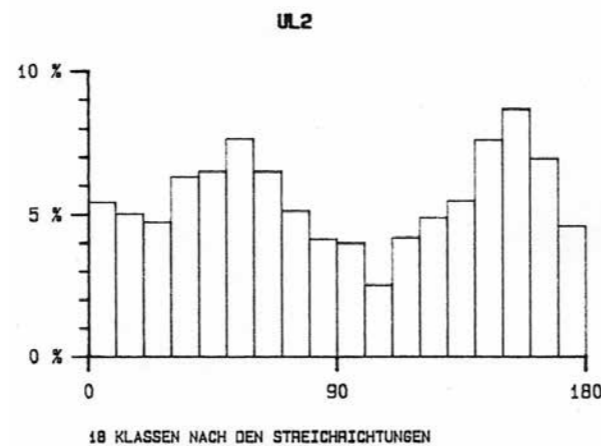
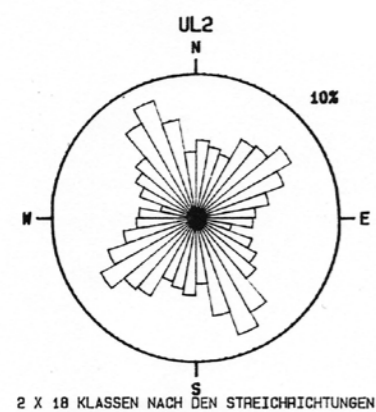


Tab. 16b1 und b2: Anzahl der Photolineationen im Bereich Taref und Mut-Formation



Tab. 17a1 und a2: Länge der Photolineationen im Bereich Dakhla-Formation

Tab. 18b1 und b2: Anzahl der Photolineationen im Bereich Tarawan-Formation



DAKHLA-FORMATION

Anzahl und Länge der Photolineationen zeigen ein recht einheitliches Bild mit einem stärkeren Maximum in der Klasse von 150 – 160 Grad und einem schwächeren in der Klasse von 50 – 60 Grad.

TARAWAN-FORMATION

Sowohl in der Länge, als auch in der Anzahl dominieren drei Richtungen:

- N/S (0 – 10 Grad),
- NE/SW (40 – 50 Grad),
- NW/SE (130 – 140 Grad).

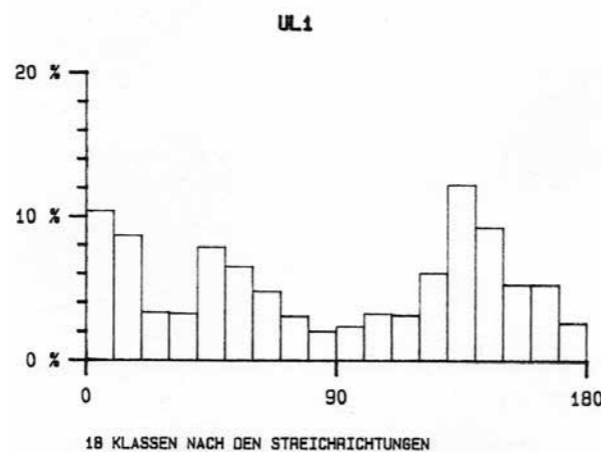
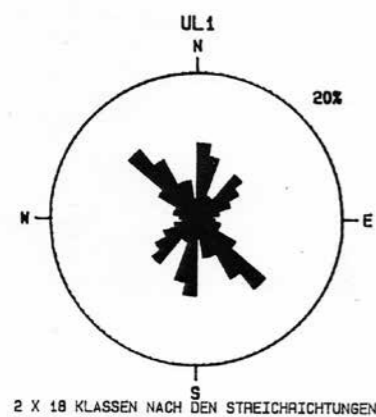
Während die NE/SW- (Streichen der Faltenstrukturen) und die NW/SE- (Störungen senkrecht zum Streichen der Faltenstrukturen) Komponente sowohl in der Mut- und Taref-Formation als auch in der Dakhla-Formation dominieren, tritt in der Tarawan-Formation zusätzlich die N/S-Komponente als jüngere Richtung auf.

Interpretationsunterschiede durch Arbeitsmethodik:

Die Luftbildinterpretation 1 : 50 000 wurde am Stereotop durchgeführt. Durch die vorangegangene Feldkartierung war das geologische Inventar bekannt, die Interpretation erfolgte direkt in den Luftbildern, ohne aufgelegte Overlays mit Vorinterpretations-Ergebnissen. Durch die starke Vergrößerung der Okulare am ZEISS-Stereotop wurden daher manche Grenzziehungen genauer, d.h. durch das Mehr an Geländeinformationen in dem größeren Maßstab konnte der Generalisierungsfaktor verringert werden.

Die Kartierung 1 : 100 000 entstand durch Interpretation der Luftbilder unter dem Stereoskop ohne Benutzung der Vergrößerungsokulare. Da für die nachfolgende Umzeichnung auf die RBV-Basis in 1 : 100 000 die maßstäbliche Verkleinerung beachtet werden musste, konnten die geologischen Grenzen nicht in allen Details wiedergegeben werden. Durch diese arbeitsmethodischen Unterschiede, die eng verbunden mit den maßstabsbedingten Generalisierungsproblemen sind, ergeben sich Differenzen sowohl in den Details der Linienführung, als auch in der Beurteilung von Flächeneinheiten. Als Beispiel sei hier die in 1 : 100 000 relativ groß erscheinende Chalkfläche, unmittelbar östlich von Bir el-Denaria angeführt. In der Kartierung 1 : 50 000 wird sie weitgehend durch Lockermaterial ersetzt.

Tab. 17b1 und b2: Anzahl der Photolineationen im Bereich Dakhla-Formation



4. VERGLEICH DER KARTIERUNGEN 1 : 50 000 UND 1 : 100 000

Die Kartierungen in den beiden Maßstäben wurden weitgehend unabhängig voneinander durchgeführt, d.h. Eine spätere Abstimmung der Linienführung erfolgte nicht. Dies dient vor allem dem Zweck, thematische Unterschiede zu erfassen, die aus Arbeitsmethodik, unterschiedlichem Datum der Grundlagen, maßstabsbedingten Differenzen und der Interpretationsvielfalt resultieren.

Tab. 18a1 und a2: Länge der Photolineationen im Bereich Tarawan-Formation

Interpretations-Differenzen durch unterschiedlichen Aufnahmestand der Grundlagen: Von diesem Kriterium sind hauptsächlich die Oasenflächen betroffen. In dem Maßstab 1 : 50 000 spiegelt sich der Kultivierungsstand der 60er Jahre wieder. Die Karte 1 : 100 000 ist dagegen durch den Informationszugewinn aus dem relativ neuen (1980) RBV aktualisiert worden. Die Oasen nehmen hier zu Ungunsten der umgebenden Seeböden größere Flächen ein.

Interpretations-Differenzen durch Generalisierungsprobleme:

Dies ist ein Kriterium, das das Erscheinungsbild der beiden Kartierungen ganz wesentlich beeinflusst. Es führt zu Unterschieden in der Linienführung und der geologischen Flächeneinschätzung. Bemerkenswert ist die Darstellung der Toplage der Phosphat-Serie. Während sie in der Karte 1 : 100 000 relativ kompakt und wenig in Einzelformen zerlegt wirkt, ändert sich ihr Eindruck in der Karte 1 : 50 000. Unmittelbar südwestlich der Oase um Bir el-Denaria erstreckt sie sich nicht mehr als zusammenhängendes Band, sondern nimmt relativ isoliert wirkende Flächen ein. Die Größenverhältnisse schwanken genauso. Während in 1 : 100 000 die Generalisierung eine Vergrößerung (maßstabsbedingte Minimalgröße) oder Verkleinerung (thematischer Wechsel auf begrenztem Raum) bewirkt, erscheinen die Flächen in 1 : 50 000 in ihrer den natürlichen Verhältnissen entsprechenden Gestalt (Gestalttreue). Dies betrifft ebenfalls die recht große Flächen nördlich von Ezbet Birbaya. In dem größeren Maßstab ist sie zunehmend in Einzelformen zerlegt, auch kleinere Deckpartien von isolierten Hügeln werden dargestellt.

In einem größeren Maßstab sind mehr Einzelheiten und Details des vorhandenen geologischen Inventars darstellbar. Darüber hinaus erreichen dünnere Bänke und Schichten, die nicht flächenhaft auftreten, die Minimalgröße, die sie darstellbar macht. Dies trifft für die Austerbank innerhalb der Phosphat-Serie zu. Es handelt sich um eine harte Kalksteinbank in der Shale-Folge, die morphologische Kanten bildet. Durch diese Tatsache, selbst wenn sie relativ selten flächenbildend wirkt, gibt sie einen Anhalt zur weiteren Differenzierung der

Phosphat-Serie. Ganz wesentlich diente die Verfolgung der Ausbisskante über mehrere Stereomodelle hinweg zur Ausscheidung der im Liegenden vertretenen oberen Sandsteinbank und der Mut-Shales. So ergibt sich im südlichen Hochtal ein recht verändertes Bild gegenüber der Kartierung 1 : 100 000. Die obere Sandsteinbank nimmt eine wesentlich größere Fläche ein. Darüber hinaus umschließt sie einige Mut-Shale-Depressionen, die in dem kleineren Maßstab nicht identifiziert werden konnten.

Interpretationsunterschiede durch wechselnde Einschätzung der Interpreteten und durch Schwerpunktsetzung (Interpretationsvielfalt):

Es muss wohl nicht noch einmal erwähnt werden, dass Interpretationsergebnisse ganz wesentlich von dem Erfahrungsstand des Interpreteten beeinflusst werden. Aber auch die wiederholte Kartierung ein und desselben Interpreteten kann Unterschiede zeigen. Dies spiegelt sich insbesondere im Gefügebild der tektonischen Elemente wider. Die Hauptstörungen sind davon weniger betroffen, jedoch ändert sich das Bild der kleineren Klüfte. Es muss aber vermerkt werden, dass ihnen hier keine besondere Bedeutung zugemessen wird, da sich leicht der Einfluss der „Überinterpretation“ einstellt.

Auffällig ist die anscheinend weniger differenzierte Darstellung der Hangpartie in 1 : 50 000. Der größere Maßstab hätte eine weitere Unterteilung der Kalkkonglomerate in verschiedene Niveaus ermöglicht, dies sollte jedoch nicht Inhalt einer geologischen Kartierung sein. Durch eine zusätzliche Ausscheidung von Hangschutt, der in dem Shale-Gebiet landschaftsbestimmend ist, wäre die Information über das lithologische Material und seine stratigraphische Stellung in den Hintergrund gerückt. Deshalb wurde die Dakhla-Shale-Einheit um den Hang- und Plateauschutt erweitert und einheitlich dargestellt. Lediglich weit vorgeschobene Schutterrassen werden als solche ausgeschieden. Zusätzlich erscheinen in der Karte 1 : 50 000 morphologische Kanten. Sie dienen als topographisches Gerüst für den geologischen Inhalt. So vermittelt insbesondere die Plateaukante und die mehr oder weniger weit vorgeschobene Grenze der Tarawan-Formation einen Eindruck über den Verwitterungszustand des Scarps.

Schlussbemerkung

Die vorliegende Arbeit beweist, dass auch für Gebiete, die durch topographisches Grundlagenmaterial wenig abgedeckt sind, detaillierte geologische Karten herzustellen sind. Zudem erweist sich der beschrittene Weg der kombinierten Luftbilddauswertung und Satellitenbildkartierung als äußerst zeit- und damit kostensparend. Allerdings wird die Qualität einer solchen Interpretation ganz wesentlich von der Geländekontrolle bestimmt, denn mehr als für geologische Übersichtskartierungen ist die Übereinstimmung von Geländebefunden und Detail-Darstellungen notwendig. Obwohl die vorliegende Karte 1 : 100 000 in großen Bereichen durch Feldergebnisse belegt ist, so gibt es dennoch Gebiete, die einer weiteren Kontrolle bedürfen.

5. LITERATURVERZEICHNIS

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY; COLWELL, R. N.; (Ed.) (1983): Manual of remote sensing.– 2. Ed., Vol. 1: Theory, instruments and techniques. 1 - 1232; Vol. 2: Interpretation and applications, 1233 - 2440, Falls Church, Virginia (ASP).

AWAD, G. H. & GHOBRIAL, M. G. (1965): Zonal stratigraphy of the Kharga Oasis.– Egypt Geol. Surv. Paper, 34, 77 S., Cairo.

BARTHEL, K. W. & HERRMANN-DEGEN, W. H. (1961): Late Cretaceous and Early Tertiary Stratigraphy in the Great Sand Sea and its SE Margins (Farafra and Dakhla Oases), SW Desert, Egypt.– Mitt. Bayer. Staatslg. Paläont. Hist. Geol., 21, 141 – 182, München.

BARTHEL, K. W. & BÖTTCHER, R. (1978): Abu Ballas Formation (Tithonian/Berriasin: South Western Desert, Egypt), a Significant Litho-stratigraphic Unit of the Former „Nubian Series“.– Mitt. Bayer. Staatslg. Paläont. Hist. Geol., 18, 153 – 166, München.

BEADNELL, H. J. L. (1901): Dakhla Oasis: Its topography and geology.– Survey Department, Public Works Ministry, Geological Survey Report, 1899, pt. IV, 107 pp., Cairo.

BEERBAUM, B. (1977): Die Genese der marin-sedimentären Phosphatlagerstätten von Al Hasa (westliches Zentraljordanien).– Geol. Jb. D 24, 3 – 55, Hannover.

BIGELOW, G. F. (1963): Photographic interpretation keys – a reappraisal.– Photogramm. Eng., 29, 6, 1042 – 1051, Menasha.

BISEWSKI, H. (1982): Zur Geologie des Dakhla-Beckens (Südwest-Ägypten), Sedimentologie und Geochemie der Nubischen Gruppe.– Berliner geowiss. Abh., (A), 40, 1 – 81, Berlin.

BUSHINSKII, G. I. (1966): Old Phosphorites of Asia and their Genesis.– Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.

FROST, R. E. (1952): Discussion of Photo recognition, analysis, and interpretation and photo keys.– Photogramm. Eng., 18, 3, 502 – 505, Menasha.

GAMIL S. SALEEB, PH. B. AND MAGD EL DINH EL-BAZ, PH. D. (1971): Lithostratigraphic and Genetic studies on the Duwi Formation at Hamrawein, Younis and El-Gihania, Red Sea Coast.

GARRISON, R. E., GLENN, C. R., SNAVELY, P. D. AND MANSOUR, S. E. A. (1979): Sedimentology and Origin of Upper Cretaceous Phosphorite Deposits at Abu Tartur, Western Desert, Egypt.– Annals of the Geologic. Survey of Egypt, Vol. IX, P. P. (261 – 281), Cairo.

HERMINA, M. H., GHOBRIAL, M. G. AND ISSAWI, B. (1961): The Geology of the Dakhla Area.– Ministry of Industry, Cairo.

KLITZSCH, E. (1978): Geologische Bearbeitung Südwest-Ägyptens.– In: Geol. Rdsch., 67, 2, 509 – 520, Berlin.

KLITZSCH, E. & LIST, F. K. (1980): Geological Interpretation Map of Egypt, 1 : 500 000, Preliminary Edition, Technische Fachhochschule Berlin.

KRONBERG, P. (1967): Photogeologie.– Clausthaler Tekton. Hefte 6, 235 S., Clausthal-Zellerfeld.

LIST, F. K. (1968): Zur Technik der photogeologischen Auswertung im kalk-alpinen Bereich (Heiterwand-Gebiet, östl. Lechtaler Alpen, Tirol).– Geol. Rdsch., 58, 1, 191 – 219, Stuttgart.

- LIST, F. K., HELMCKE, D. & ROLAND, N. W. (1974): Vergleich der geologischen Information aus Satelliten- und Luftbildern sowie Geländeuntersuchungen im Tibesti-Gebirge (Tschad).– Bildmessung und Luftbildwesen 1974/4, 116 – 122, Karlsruhe.
- LIST, F. K., MEISSNER, B., PÖHLMANN, G. & RIPKE, U. (1984): Medium to Small Scale Geological Mapping Based on Landsat MSS and RBV Data – Case Histories of Projects in North Africa.– Proc. of Seminar on Remote Sensing for Geological Mapping (IUGS), Orléans.
- MC KELVEY, V. E. (1969): Phosphate Deposits.– Geol. Survey Bulletin 1252-D, United States Department of the Interior, Washington D. C..
- MEISSNER, B. (1975): Sedimentationsgeschichte und strukturelle Entwicklung des Neogenbeckens von Mytilinii – Samos/Griechenland.– Unveröffentl. Dipl.-Arb., Inst. f. Allgem. und Hist. Geol., FU Berlin.
- MEISSNER, B. (1979): Untersuchungen zur Bruchtektonik in der Zentralägäis.– Berliner geowiss. Abh., (A), 17, 1 – 111, Berlin.
- MEISSNER, B. & RIPKE, U. (1983): Ein schneller Weg zur geologischen Kartierung mittlerer Maßstäbe in ariden Gebieten.– Berliner geowiss. Abh., (A), 47, 75 – 86, Berlin.
- PÖHLMANN, G. & MEISSNER, B. (Ed.), MILO, C. (Bearb.) (1983): Satellite Image Map 1 : 100 000, Dakhla/Egypt.– Technische Fachhochschule Berlin.
- PÖHLMANN, G. & MEISSNER, B. (Ed.), ZIRN, V. (Bearb.) (1983): Luftbildkarte 1 : 100 000, Dakhla/Ägypten, Technische Fachhochschule Berlin.
- 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 Geograph. Abh., 19, 47 S., Berlin.
- ROSCOE, J. H. (1955): Introduction of photo interpretation keys.– Photogramm. Eng., 21, 5, 703 – 704, Menasha.
- SAID, R. (1962): The Geology of Egypt.– Elsevier Publ. Co., 377 pp., New York.
- 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 Geograph. Abh., 32, 99 – 132, Berlin.
- SCHNEIDER, S. (1974): Luftbild und Luftbildinterpretation.– Walter de Gruyter, Berlin – New York.
- STOCK, P. (1972): Photogeologische und tektonische Untersuchungen am Nordrand des Tibesti-Gebirges, Zentral-Sahara, Tschad.– Berliner Geograph. Abh., 14, 59 S., Berlin.
- YOUSSEF, M. I. (1965): Genesis of bedded Phosphates.– Economic Geology, Vol. 60, pp. 590 – 600, Cairo.
- ZIRN, V. (1983): Luftbildkarte Dakhla/Ägypten 1 : 100 000.– Unveröffentl. Dipl.-Arb., Technische Fachhochschule Berlin.
- ZITTEL, K. A. (1880): Über den geologischen Bau der Libyschen Wüste.– Festrede öffentl. Sitz. K.b., Akad. Wiss. München, München.
- ZITTEL, K. A. (1883): Die Geologie und Paläontologie der Libyschen Wüste und der angrenzenden Gebiete von Ägypten.– Palaeontographica, 30, 3 – 6: I-CXLVII.

Anhang

- Geologische Karte: Mut (Dakhla Oasis) 1 : 100 000
- Geologische Karte: Ezbet Birbaya (Dakhla Oasis) 1 : 50 000