

QUARTÄRE STRANDTERRASSEN AN DER KÜSTE DES GEBEL ZEIT (GOLF VON SUEZ/ÄGYPTEN)

Mit 3 Abbildungen und 2 Tabellen

WOLFGANG ANDRES und ULRICH RADTKE unter Mitarbeit von AUGUSTO MANGINI

Summary: Quaternary raised beaches along the Gebel Zeit coast (Gulf of Suez, Egypt)

Along the coast of Gebel Zeit (Eastern Desert, Egypt) raised beaches were found at different levels. The most obvious ones are marked by coral reefs at approximately 15m MSL, which correspond with the maximum of the last interglacial period (stage 5e). This age has been verified by Th/U- and ESR dating. Another reef (2m MSL) is of Holocene age. Traces of two other former shorelines can be found at approximately 50m and 65m MSL. They may be attributed to the Middle or Early Pleistocene. Considering the age and the level of the 15m - reef one must assume that the Gebel Zeit region was raised some 5 to 10m in the last 125,000 years.

In contrast to these locations there are other sites far south in the fringe area between Gebel Zeit and Little Gebel Zeit where the reef of the last Interglacial is found at approximately 5m MSL. Therefore it must be concluded that there was no uplift in this part since the last interglacial period. Here the coastal plain is fairly wide and the underlying rock is covered by huge alluvial fans.

A comparison of our results with those of other studies in this region and context shows that no overall regional similarity exists. This is true neither for the hypsometric location of specific shorelines nor for their physiographic appearance. These differences may be caused by regional tectonic variations or by incorrect dating or by both.

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit der Untersuchung von Wadisedimenten in der Eastern Desert Ägyptens und dem Versuch ihrer zeitlichen Einstufung¹⁾ wurden an verschiedenen Stellen im Arbeitsgebiet die Beziehungen zwischen den fluvialen Ablagerungen und Strandniveaus unterschiedlichen Alters untersucht. Diese Ergebnisse sollen im Zusammenhang an anderer Stelle publiziert werden. Im Hinblick auf die Abfolge und Datierung von quartären Strandterrassen ergaben sich für den Küstenstreifen im Bereich des Gebel Zeit jedoch sehr interessante Befunde, die nachfolgend gesondert dargestellt werden. Entlang

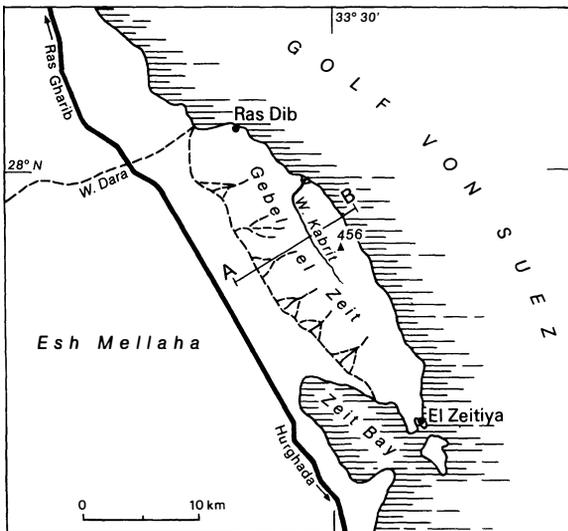
¹⁾ Die Geländeuntersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch Reise- und Sachbeihilfen unterstützt.

des Gebel Zeit ist eine Steilküste ausgebildet, in deren Verlauf auf engem Raum, jedoch mit deutlicher Vertikaldistanz, unterschiedlich alte Küstenlinien deutlich getrennt auftreten. Zudem sind diese, da größere Wadisysteme fehlen, nicht von mächtigen Schwemmflächen überdeckt, wie das vielfach dort der Fall ist, wo breitere Küstenebenen dem höher aufragenden Hinterland vorgelagert sind.

2. Der Untersuchungsraum

Der Gebel Zeit stellt eine markante geologische und geomorphologische Erscheinung im Bereich der südlichen Golfküste Ägyptens dar. Er erstreckt sich über ca. 30 km in NW-SE-Richtung von Ras Dib bis El Zeitiya (Abb. 1). Seine Breite beträgt nur 5-6 km. Es handelt sich um eine isolierte Aufragung des kristallinen Untergrundes, die direkt an der Küste zutage tritt. Nach Westen zu werden die präkambrischen Granite von Sandsteinen der „Nubischen Serie“ überlagert, die allerdings nur in einem schmalen Band im Norden anstehen. Darüber folgen, ebenfalls ausschließlich in einem eng begrenzten Bereich auftretend, kreidezeitliche Kalke. Diese werden von jungtertiären Evaporiten und Mergeln überdeckt, die ihrerseits nach Westen zu von quartären Lockersedimenten überlagert werden (Abb. 1).

Im mittleren Teil des Gebel Zeit taucht der kristalline Sockel ab und wird gänzlich von jüngeren Sedimenten überdeckt, um im Süden nochmals zutage zu treten. So ergibt sich eine Untergliederung in den eigentlichen Gebel Zeit im Norden und den Kleinen Gebel Zeit im Süden. Im Bereich des östlichen Steilabfalls des Massivs zur Golfküste sind dem präkambrischen Sockel örtlich steilgestellte Reste von Evaporiten und Mergeln angelagert (vgl. SAID 1962, 158 und Abb. 3). In der küstennahen, stark zerklüfteten Bergkette aus kristallinen Gesteinen werden Höhen von über 400 m erreicht. An der Grenze zu den aufliegenden Sedimenten hat sich ein Längstal gebildet, das nach Norden entwässert, von dort nach Osten umbiegt und in Form eines engen Durchbruchtals die Küste erreicht. Es handelt sich um das ausgeprägt



stark schematisiertes
Querschnitt durch den
Gebel el Zeit
(nicht maßstabsgerecht)

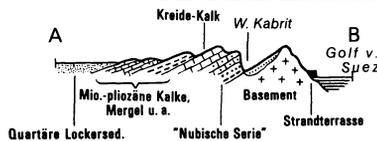


Abb. 1: Lage und geologische Struktur des Gebel Zeit

Geographical and geological situation of the Gebel Zeit area

asymmetrisch ausgebildete Tal des Wadi Kabrit. Sein Verlauf steht in deutlichem Gegensatz zu dem sicherlich älteren, konsequenten Entwässerungsnetz, das die nach Osten hin abtauchenden Sedimente überzieht und zertalt (Abb. 1).

3. Die bisherigen Befunde zu alten Strandlinien im Bereich der Küste des Golfs von Suez und des Roten Meeres

Das Vorhandensein von älteren Stränden an der afrikanischen Küste des Golfs und des Roten Meeres ist seit langem bekannt. In der geologischen Literatur werden solche Strandniveaus vielfach erwähnt, wobei allerdings keine Angaben über die genaue Abfolge mitgeteilt werden und nur eine summarische Alterseinstufung als „Quartär“ oder „Pleistozän“ erfolgt (SAID 1962, 184). Eine systematische Untersuchung erfolgte bisher jedoch nicht. Erste Beobachtungen wurden von BULLEN-NEWTON (1900) und FELIX (1904) vorgestellt. Eine großräumige Betrachtung stammt von HUME u. LITTLE (1928), wobei damals die Möglichkeiten der Datierung und des weltweiten Vergleichs noch nicht gegeben waren. Einige Bearbeiter führten ihre Untersuchungen nicht unter

stratigraphisch-geologischen, sondern vorwiegend unter paläontologischen Gesichtspunkten durch (BULLEN-NEWTON 1900, ARKELL 1928).

Eine Detailuntersuchung gibt es nur für den Bereich der sudanesischen Küste zwischen 19° und 22° nördlicher Breite von BERRY, WHITEMANN u. BELL (1966). Sie betrachteten die gehobenen Strandlinien des jüngeren Quartärs, von denen sie vier Stufen unterschieden, vor allem im Zusammenhang mit der Entstehung der buchtartigen Einkerbungen der Küstenlinie (Marsa). Dabei wurden auch Ergebnisse erster absoluter Altersbestimmungen mitgeteilt. Ferner wurden Altersdaten von Korallen aus gehobenen Strandlinien für den südlichen Teil der ägyptischen Küste des Roten Meeres von VEEH u. GIEGENGACK (1970) publiziert.

4. Die Geländebefunde an der Küste des Gebel Zeit

Die an der Küste des Gebel Zeit auftretende Abfolge mariner Strandterrassen ist schematisiert in Abb. 2 dargestellt. Über der heutigen Küste, der ein Riff vorgelagert ist, breitet sich landeinwärts eine schmale Verebnung aus. Diese wird meist aus Schottern gebildet, die aber oft ein darunter liegendes abgestorbenes Korallenriff abdecken. Dieses liegt mit seiner Oberfläche ca. 2 m über dem heutigen Meeresspiegel. An einigen Stellen kommt dieses Riff an die Oberfläche. Teilweise wurde es auch durch den Straßen- und Pipelinebau freigelegt, oder abgeschlagene Korallenbruchstücke an der Oberfläche belegen sein Vorhandensein im Untergrund. Landeinwärts ist an einigen Stellen eine flache Senke ausgebildet, die von Feinmaterial und Riffbruchstücken gefüllt ist. Unter dieses Material taucht ein Schuttfächer ab, der von einem höheren Niveau herabzieht. Dieses nächsthöhere Stockwerk ist in konstanter Höhe als ältere Strandlinie zu verfolgen. Über einer im anstehenden Granit ausgebildeten Strandplattform liegt zunächst eine Folge von Strandgeröllen und Sanden. Darüber folgt das eigentliche Riff mit großen Korallenstöcken in Lebendstellung. Dieses wird erneut durch Strandgerölle überdeckt, die ihrerseits meist von Hangschutt überfahren wurden (Abb. 3 a). Teilweise folgt jedoch auch über dem Riff zunächst Riffschutt, der das Absterben und den Abbau des Riffs dokumentiert, bevor eine Übersättigung vom rückliegenden Steilhang erfolgte. Örtlich kann aber auch die direkte Überdeckung des Riffs durch Schwemmschutt nachgewiesen werden. Die Verhältnisse können auf kurzer Distanz im einzelnen sehr unterschiedlich ausgebildet sein. Trotzdem ist das ehemalige Küstenniveau

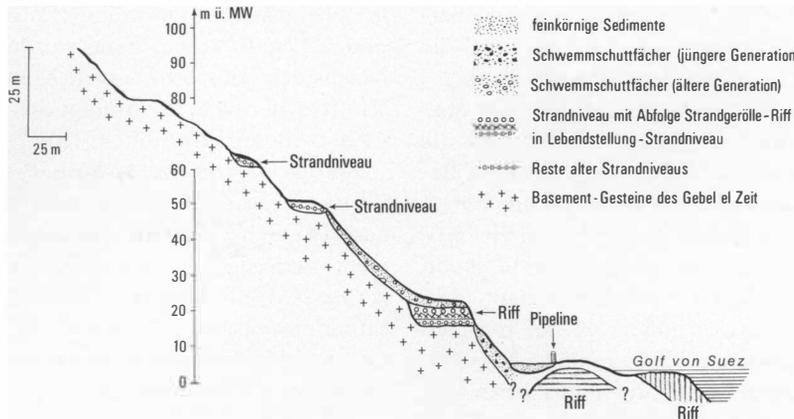


Abb. 2: Die Lage der Riffe und Strandniveaus an der Küste des Gebel Zeit
The position of the reefs and former shorelines at the Gebel Zeit coast

bei ca. 15 m ü. M. fast durchgehend erhalten und durch Brandungsgerölle, Strandablagerungen, Korallenriffe mit Korallen in Lebendstellung oder (und) Riffschutt belegt. In Abb. 3 sind drei unterschiedliche Formen der Ausbildung dieses ehemaligen Strandniveaus dargestellt.

Lediglich im Süden, 10 km südlich des Durchbruchs des Wadi Kabrit durch den Gebel Zeit, wo das Grundgebirge abtaucht, um erst im Kleinen Gebel Zeit wieder an die Oberfläche zu treten, wird die Höhenlage des 15-m-Strandniveaus fraglich. Das Auftreten mächtiger Schwemmfächer und die Überdeckung des Grundgebirges mit jüngeren Sedimenten deutet hier eine abweichende Entwicklung an (s. u.).

Oberhalb dieses dominierenden Strandniveaus lassen sich am Steilhang des Gebel Zeit noch zwei weitere Strandlinien bei etwa 50 m und 65 m über dem Meeresspiegel belegen. Sie bestehen aus Vereb-

nungen im Granit, denen oft grobe, gut gerundete Strandgerölle aufliegen. Diese sind meist mit einem karbonatischen Bindemittel verbacken, in dem auch Molluskenschalen auftreten. Reste von Korallenriffen sind in den älteren Strandniveaus nur bei ± 45 m am Austritt des Wadi Kabrit aus dem Gebel Zeit zu finden, wo das Grundgebirge nach Westen zurückspringt und Schwemmfächer verschiedenen Alters eine breitere Übergangszone zum Meer bilden. Hier könnte sich, wie auch im Süden zwischen dem Gebel Zeit und dem Kleinen Gebel Zeit, eine differenzierte tektonische Entwicklung andeuten.

Über dem ± 65 -m-Niveau gibt es zwar immer wieder Verflachungen und Sporne im Granit bei etwa 80 m Höhe, es fehlen jedoch Ablagerungen, die den Nachweis von Strandniveaus in dieser Höhenlage ermöglichen würden. Bereits die Erhaltung entsprechender Ablagerungen am Steilhang bei ± 50 m bzw. ± 65 m ist in Anbetracht der exponierten Lage

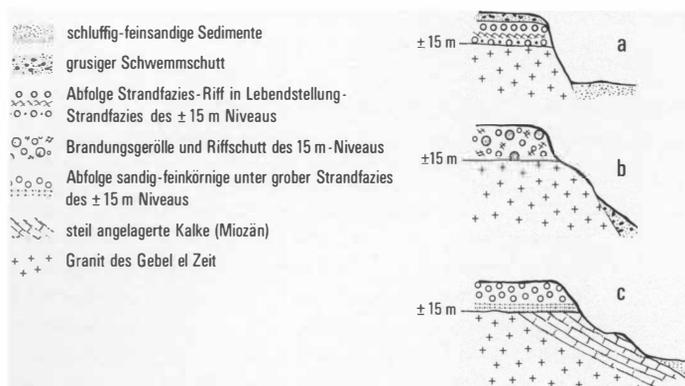


Abb. 3: Typen der Ausbildung des +15m-Niveaus an der Gebel Zeit-Küste
Different types of the 15m-shoreline at the Gebel Zeit coast

erstaunlich. Unterhalb des 50-m-Niveaus setzen überall entlang der Steilküste steile Schuttfächer ein, die hangabwärts das ± 15 -m-Niveau überdecken (s. o.).

Die geringe Horizontaldistanz der Zeugen ehemaliger Meereshochstände macht deutlich, daß die Küstenlinie während transgressiver Phasen im Bereich des Gebel Zeit kaum einer Verschiebung unterlag. Dagegen wird dies bei Regressionen in viel größerem Maße der Fall gewesen sein, da der Golf von Suez bei einer maximalen Tiefe von 60 m dann über größere Zeiträume hinweg außerhalb des marinen Bereichs gelegen haben muß. Die deutliche Vertikaldistanz der ehemaligen Strandlinien und deren sehr unterschiedliche Ausbildung im Bereich der Küste des Gebel Zeit erlaubt deren exakte Zuordnung. Die Horizontalkonstanz im Auftreten der einzelnen Niveaus zeigt darüber hinaus, daß der Gebel Zeit i. e. S. offensichtlich nicht von differenzierten tektonischen Bewegungen erfaßt wurde, sondern eine gegenüber den eustatischen Meeresspiegelschwankungen einheitliche Bewegungstendenz zeigte. Schließlich erscheint noch die Beobachtung wichtig, daß die Korallenriffe des ± 15 -m-Niveaus meist seit längerer Zeit abgestorben und im Abbau begriffen waren, bevor vom steileren Hang des Gebel Zeit eine flächenhafte Übersättigung mit Schwemmschutt erfolgte. Dies gilt offenbar nur dort nicht, wo kleinere Wadis aus dem Gebel Zeit austreten und Einzelereignisse des Abkommens dieser Wadis zu einer Übersättigung des Riffs im Mündungsbereich und damit örtlich unmittelbar zu dessen Absterben führen konnten.

5. Das Probenmaterial

Soweit die ehemaligen Strandniveaus durch Korallenriffe repräsentiert sind, ließen sich als Probenmaterial für die Altersbestimmungen und andere Untersuchungsmethoden Teile von Korallenstöcken

in Lebendstellung gewinnen (Proben C 14, C 15, C 16 und C 17). In einem Falle wurden auch Korallenbruchstücke aus verbackenem Material aus dem Riffschutt an der Basis der Abfolge der ± 15 -m-Strandterrasse entnommen (Probe C 13).

Bei den höhergelegenen Strandterrassen konnte nur für das ± 45 -m-Niveau am Austritt des Wadi Kabrit aus dem Gebel Zeit Korallenmaterial, eingebettet in nicht verfestigte Strandgerölle, gewonnen werden (Probe C 18). Dagegen waren in den Resten der Strandniveaus bei ± 50 m und ± 65 m ü. M., etwa 6,5 km südlich der Mündung des Wadi Kabrit, nur Fragmente von Molluskenschalen erhalten (Probe C 11).

In Tabelle 1 sind die Arten der in Lebendstellung entnommenen Korallenproben aufgeführt. Außerdem ist der jeweilige Anteil an Aragonit bzw. Kalzit des datierten Korallenmaterials dargestellt, wobei eine Umrechnung der röntgenkristallinen Phasen dieser beiden Elemente auf 100% erfolgte (Tab. 1).

Die Korallen aus dem $+2$ -m-Niveau (C 15) bestehen danach zu mehr als 99% aus Aragonit. Das aus den Korallen in Lebendstellung gewonnenen Material des älteren Strandniveaus bei ± 15 m (C 14 und C 16) hat in einem Falle bereits eine gewisse Kalzitierung erfahren (C 14), besteht im anderen Falle aber auch noch fast ausschließlich aus Aragonit (C 16). Das ebenfalls ältere, an dieser Stelle jedoch erheblich tiefer liegende Strandniveau bei ± 5 m ü. M., 10 km südlich der Mündung des Wadi Kabrit nördlich der Erdölpumpstation, weist ebenfalls Korallen auf, die fast ausschließlich aus Aragonit bestehen (C 17). Dagegen hat das Probenmaterial aus dem verfestigten Riffschutt des ± 15 -m-Niveaus (C 13) schon eine weitgehendere Umwandlung erfahren und besteht überwiegend aus Kalzit. Dies gilt auch für das Korallenmaterial aus dem ± 45 -m-Niveau (C 18), dessen Alter sowohl aufgrund des Geländebefundes als auch der nachfolgend kommentierten Datierungen erheblich größer sein muß.

Tabelle 1: Artbestimmung und Aragonit/Calcit-Anteil der Korallenproben vom Gebel Zeit

Species and aragonite/calcite proportion of the coral samples from the Gebel Zeit area

Probe	Niveau (m ü. M.)	Gattung/Art ¹⁾	Aragonit/Calcit (%) ²⁾	Material
C 13	15	nicht bestimmt	32/66 (2% Quarz)	Korallenbruchstück aus Riffschutt
C 14	15	<i>Favia cf. amicornum</i>	67/39	Koralle in Lebendstellung
C 15	2	<i>Stylophora pistillata</i>	>99/<1	Koralle in Lebendstellung
C 16	15	<i>Favia fava</i>	99/1	Koralle in Lebendstellung
C 17	5	<i>Platygyra daedalea</i>	>99/Spuren	Koralle in Lebendstellung
C 18	45	nicht bestimmt	37/63	Korallenbruchstücke aus Schotter

1) Die Bestimmung der Arten erfolgte durch Herrn Dr. W.-CHR. DULLO, Erlangen.

2) Die Bestimmung des Aragonit/Calcit-Anteils erfolgte durch Herrn Dr. W. VORTISCH, Marburg.

6. Methodische Grundlagen und Ergebnisse der Altersbestimmungen

6.1 Th-230/U-234-Datierungen

Die Datierung fossiler Korallen mittels der Th/U-Methode ist in der Regel relativ problemlos, besonders im Vergleich mit der Altersbestimmung fossiler Mollusken, welche eher Kontaminationen unterliegen können (vgl. RADTKE et al. 1985). Voraussetzung für die Anwendung der Th/U-Methode ist ein geschlossenes System für die Elemente Thorium und Uran und der Nachweis, daß keine Rekristallisation des Aragonits stattgefunden hat. Diese Rekristallisation tritt verstärkt bei älteren Korallen und unter humiden Klimabedingungen auf. Das Optimum der Methode liegt zwischen 50 000 und 150 000 BP. Die theoretische Obergrenze des Datierungsbereichs liegt aufgrund der Zerfallszeiten des Uran-Isotops 234 und des Thorium-Isotops 230 bei 500 000 Jahren; der für die Datierungspraxis relevante Zeitraum ist aber deutlich kleiner. Oberhalb von 250 000 BP werden die Fehlergrenzen so groß, daß nur noch die Abschätzung von Mindestaltern möglich ist. Dadurch ist eine eindeutige Zuordnung z. B. zu den Stufen 9 und 11 der Sauerstoffisotopenkurve von SHACKLETON u. OPDYKE (1973) kaum möglich. Auch bei der Gewinnung von Daten aus dem Holozän ist die Fehlerspanne verhältnismäßig hoch. Je jünger die Probe (z. B. C 15 mit 4000 ± 1000 a), um so größer wird der relative Fehler. Für diesen Zeitraum ist die Radiocarbon-Methode sicherlich besser geeignet. Die vergleichende Datierung der Probe C 15 nach der ^{14}C -Methode, die ein Alter von 3860 ± 80 (HD 9977-10 114) ergab, zeigt jedoch, daß auch für das Holozän eine durchaus realistische Größenordnung mittels der Th/U-Analyse erreicht werden kann.

Obwohl das Datierungsoptimum der Methode im Bereich des letzten Interglazials liegt, ist die Unterscheidung der drei Maxima der Stufe 5 (5 a: ca. 80 000 BP, 5 c: ca. 105 000 BP und 5 e: ca. 125 000 BP) nicht immer möglich. Wie KAUFMANN (1986) richtig festgestellt hat, kann eine Trennung anhand von Th/U-Daten nur bei Proben vorgenommen werden, die aus drei morphostratigraphisch deutlich trennbaren Terrassenstufen stammen. Aufgrund statistischer Auswertung mehrerer hundert Probandaten konnte festgestellt werden, daß bei Einzelproben eine eindeutige Korrelation mit einer bestimmten Unterstufe des letzten Interglazials nicht möglich ist. Im Hinblick auf die Datierung der Proben aus dem ± 15 -m-Niveau am Gebel Zeit bedeutet dies (s. Tab. 2), daß die Proben C 14 (115 000 BP), C 16 (114 000 BP) und C 17

(102 000 BP) durchaus alle der Stufe 5 e, d. h. dem absoluten Maximum des letzten Interglazials zugeordnet werden können. Ähnliches gilt wahrscheinlich auch für die Untersuchungen von VEEH u. GIEGENGACK (1970), die an der ägyptischen Küste des Roten Meeres 4 Th/U-Alter von 70 000, 89 000 ($2\times$) und 92 000 a ermittelten. Bezüglich weiterer, detaillierter Informationen zur Th/U-Methode wird auf IVANOVICH u. HARMON (1982) verwiesen.

6.2 Die Elektronenspin-Resonanz-(ESR)Datierungen

Die ESR-Altersbestimmungsmethode eignet sich gleichermaßen wie die Th/U-Methode sehr gut zur Datierung fossiler, nicht rekristallisierter aragonitischer Korallen. Ein ESR-Alter errechnet man nach folgender Beziehung:

$$AD = \int_0^t D_{(t)} dt.$$

Hierbei stellt die akkumulierte Dosis (AD, auch „Archäologische Dosis“ genannt) die gesamte radiogene Strahlungsdosis dar, die die Probe seit der Bildung erhalten hat. Die Dosisrate D wird durch die radioaktiven Elemente der Probe (bei Korallen i. d. R. Uran) und des Umgebungsmaterials sowie u. U. durch die kosmische Strahlung erzeugt (bezüglich Messung bzw. Berechnung von AD und D bei Korallen vgl. RADTKE u. GRÜN 1988).

Die Kalibrierung der ESR-Methode erfolgte an Vergleichsproben von den Neuen Hebriden und den Typlokalitäten von Barbados. Ein Vergleich mit den von EDWARDS et al. (1987) publizierten Ergebnissen der hochpräzisen massenspektrometrischen Th/U-Datierung ($125\,000\text{ BP} \pm 1-2\%$) belegt die Bedeutung der ESR-Altersbestimmungsmethode in der Quartärforschung:

	Meso- lella et al. (1969) (Th/U)	Edwards et al. (1987) (Massen- spektr. Th/U)	Radtke/ Grün (1988) (ESR)
Barbados I (Stufe 5 a)	82 000	87 700	92 000
Barbados II (Stufe 5 c)	105 000	112 000	110 000
Barbados III (Stufe 5 e)	125 000	125 000	136 000

Ein besonderer Vorteil der ESR-Datierung liegt darin, daß sie über den oberen zeitlichen Rahmen der Th/U-Altersbestimmung hinausgehen kann: Auf

Tabelle 2: Th/U- und ESR-Alter der Proben aus den Strandniveaus an der Gebel Zeit-Küste

Th/U- and ESR ages of fossil corals and marine mollusca from former shorelines of the Gebel Zeit coast

Probe (Lab.-Nr.)	Niveau (m ü. M.) ¹⁾ (s. Abb. 2)	238 U (ppm)	232 Th (ppm)	220 Th (dpm/g)	234 U (dpm/g)	$\frac{234 U}{238 U}$	$\frac{230 Th}{234 U}$	Th/U- Alter (ka)	Do ²⁾ (mGy/a)	AD ³⁾ (Gy) ⁴⁾	ESR-Alter (ka ± 15%)
C15 (D955a/b)	± 2	2,86 ± 0,05	0,009 ± 0,006	0,126 ± 0,01	2,46 ± 0,04	1,19 ± 0,03	0,04 ± 0,004	4 ± 1	0,6962	5,5	7,9
C17 (D957a/b)	± 5	3,12 ± 0,09	0,001	1,64 ± 0,05	2,59 ± 0,07	1,12 ± 0,05	0,63 ± 0,01	102 + 4 - 5	0,8078 0,8236	75,8 84,4	94,0 102,0
C13 (D953b)	± 15	-	-	-	-	-	-	-	1,61	205	127,7
C14 (D954a/b)	± 15	3,48 ± 0,06	0,023 ± 0,008	1,95 ± 0,08	2,84 ± 0,05	1,11 ± 0,03	0,68 ± 0,04	115 + 11 - 9	1,1487 1,1655	151 163	131,0 140,0
C16 (D956b)	± 15	2,52 ± 0,03	0,023 ± 0,048	1,40 ± 0,03	2,061 ± 0,03	1,11 ± 0,02	0,67 ± 0,02	114 + 12 - 4	0,9027	115	128,0
C18 (D958a/b)	± 45	2,52 ± 0,1	0,05 ± 0,01	2,49 ± 0,04	2,01 ± 0,07	1,07 ± 0,07	1,24 ± 0,07	excess 230 Th alt (?)		Sättigung	Altpleistozän/ Pliozän?
C11	± 50	2,18 ± 0,02	0,023 ± 0,009	2,94 ± 0,05	2,51 ± 0,03	1,57 ± 0,03	1,172 ± 0,03	>400	-	-	-
C12	± 65	0,70 ± 0,03	0,023 ± 0,01	1,34 ± 0,05	1,02 ± 0,04	1,99 ± 0,13	1,365 ± 0,07	excess 230 Th alt (?)	-	-	-

¹⁾ Alle Höhenangaben beruhen auf barometrischen Höhenmessungen²⁾ Do = Jährliche Dosisrate³⁾ AD = Archäologische Dosis⁴⁾ Gy = Gray (1 Gray = 100 rad)

Barbados wurden Alter bis ca. 1 Mio. Jahre gemessen (RADTKE et. al. 1988).

Aufgrund einer Fehlerspanne von ca. 10–15 % ist mittels der ESR-Methode eine Korrelation der datierten Korallen des letzten Interglazials mit seinen Unterstufen 5a, 5c und 5e nur im morphostratigraphischen Kontext möglich. Eine morphologische Differenzierung dieser Stufen ist im vorgestellten Untersuchungsgebiet aber nicht möglich. Da gleichzeitig die Höhenlage der obersten letztinterglazialen Korallen eine stärkere Hebung des Gebietes nicht annehmen läßt (vgl. Kap. 6.3), ist es sehr wahrscheinlich, daß die ermittelten Alter der Proben C 13, C 14, C 16 und C 17 dem Maximum des letztinterglazialen Meeresspiegelstandes um 125 000 BP zugeordnet werden müssen.

Das ESR-Alter der holozänen Probe C 15 (7950 BP) besitzt eine deutlich höhere Fehlerspannbreite, da in diesem Altersbereich das für die Berechnung verwendete ESR-Signal erst geringfügig angewachsen ist und noch vom „Rauschen“ bei der Messung überlagert wird. Aus diesem Grund kann es zu einer Altersüberbestimmung von 2000 bis 3000 Jahren kommen (RADTKE u. GRÜN 1988). In diesem Fall bleibt die ^{14}C -Datierung die Methode der Wahl.

Bei Probe C 18 wurde Sättigung festgestellt, d. h. die Ermittlung der „Archäologischen Dosis“ (AD) war nicht möglich. Aufgrund der Untersuchungen auf Barbados (RADTKE et al. 1988), wo bei Proben von knapp 1 Mio. Jahre nur relativ geringfügige Sättigungseffekte auftraten, liegt der Schluß nahe, daß die Probe C 18, die keinerlei Anstieg des ESR-Signals bei der künstlichen radioaktiven Bestrahlung erkennen ließ, deutlich älter als 1 Mio. Jahre ist. Ein tertiäres Alter kann nicht ausgeschlossen werden.

Ein weiterer Vorteil der ESR- gegenüber der Th/U-Methode ist es, daß auch partielle Rekristallisationen die Kalkulation eines ESR-Alters nicht verhindern. Nicht rekristallisierte Proben sind selbstverständlich vorzuziehen, doch zeigen die Ergebnisse der Proben C 13 und C 14, daß auch Kalzitanteile von 30–60 % im Einzelfall tolerierbar sind.

6.3 Vergleich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen von Strandterrassen dieses Raumes

Bis zum Anfang der 60er Jahre wurden Korrelationen von Strandlinien allein auf der Grundlage altmetrischer und paläontologischer Untersuchungsmethoden durchgeführt. Danach erfolgte zunehmend der Einsatz „absoluter“ radiometrischer Datierun-

gen und eine langsame Abkehr vom klassischen eustatischen Modell (vgl. RADTKE u. RATUSNY 1987).

Erste ^{14}C -Datierungen an Fossilien des Roten Meeres legte NESTEROFF 1960 vor. Die 4 Proben von Korallen und Muscheln (24 730 a, + 10 m; 35 500 a, + 30 m; 35 500 a, + 30 m; 35 500 a, + 5 m) von der Insel Abulat liegen vermutlich außerhalb des Datierungsbereichs der ^{14}C -Methode bzw. waren kontaminiert. Die tektonische Interpretation dieser Ergebnisse ist denn auch mehr hypothetischer Natur und eine innerwürmzeitliche bzw. holozäne Hebung läßt sich daraus sicherlich nicht ablesen.

BERRY et al. (1966) deuteten die an der Datierungsgrenze liegenden ^{14}C -Alter von Muscheln aus Strandniveaus bis + 16 m an der sudanesischen Küste daher konsequenterweise als Mindestalter und gehen von einer Entstehung dieser Niveaus im letzten Interglazial aus. Für eine Probe aus einem + 9,5-m-Niveau, die ein ^{14}C -Alter von 37 000 a anzeigte, konnte dies durch eine Th/U-Datierung auch nachgewiesen werden. Sie ergab ein Alter von 91 500 BP (BERRY et al. 1966, 125).

Belegt durch ein ^{14}C -Alter von 4770 BP, welches an einer Koralle aus dem Bereich der „uppermost intertidal Zone“ gemessen wurde, glaubt FRIEDMANN (1966) südlich von Elat eine junge Hebung feststellen zu können. Mittels der inzwischen etablierten Th/U-Methode untersuchten VEEH u. GIEGENGACK (1970) 4 Korallenproben nördlich Marsa Alam an der ägyptischen Küste des Roten Meeres. Sämtliche Proben waren in das letzte Interglazial zu stellen. Insgesamt wurden drei Terrassen bei + 2 m, + 8 m und + 22 m ausgegliedert, doch war eine Datierung der obersten Terrassenstufe nicht möglich. VEEH u. GIEGENGACK interpretieren die 2-m- und 8-m-Terrasse als zeitgleich zwischen 75 000 und 90 000 BP gebildet. In Anlehnung an die Barbados-Terminologie (vgl. BENDER et al. 1979) korrelieren VEEH u. GIEGENGACK die 2–10m-Terrasse mit Barbados I, ca. 80 000 BP. Nach dem auf Barbados erarbeiteten Modell der letztinterglazialen Meeresspiegelmaxima lag der Meeresspiegel um 105 000 und 80 000 BP (Barbados II und I) ca. 13–16 m unter dem heutigen Niveau. Bezogen auf die Ergebnisse von VEEH u. GIEGENGACK würde das bedeuten, daß während der letzten 90 000 Jahre eine Hebung dieses Küstenabschnittes von ca. 20–25 m stattgefunden haben mußte. Diese Überlegung würde aber nur dann Gültigkeit haben, wenn die 22m-Terrasse von VEEH u. GIEGENGACK mit der Stufe 5e, dem maximalen Meereshochstand während des letzten Interglazials, korreliert werden könnte und das + 8-m-Niveau tatsächlich der Stufe 5a entspräche. Solange aber das obere Niveau nicht eindeutig datiert

ist, liegt die Vermutung nahe, daß die vier damals datierten Proben aufgrund fehlender Kalibrierung und Meßungenauigkeit in der Entwicklungsphase der Th/U-Altersbestimmung tatsächlich dem Maximum der letzten Warmzeit zugeordnet werden müssen. Die 22m-Terrasse entspricht dort wahrscheinlich einem Meeresspiegelhochstand während des vorletzten oder vielleicht sogar eines älteren Interglazials.

Vom südlichen Teil der Sinai-Halbinsel beschreibt NIR (1971) drei pleistozäne Terrassenniveaus bei 2–3 m, 8–12 m und 28 m. Für ihre Entstehung werden eustatische Meeresspiegelschwankungen verantwortlich gemacht, die vom Autor in das Würm gestellt werden. Ist diese zeitliche Korrelation aus heutiger Sicht als überholt anzusehen, so muß aber festgehalten werden, daß tektonische Verstellungen der mittleren und oberen Terrasse erwähnt werden, die z. B. zu sogenannten Hängetälern geführt haben. Der Verfasser sieht sich jedoch nicht in der Lage, das Verhältnis von tektonischen Vertikalbewegungen zu eustatischen Meeresspiegelschwankungen einzuschätzen. GUILCHER (1979) erwähnt Th/U-Datierungen fossiler Korallenriffe von der Südostküste der Sinai-Halbinsel. In der Nähe von Sharm el Sheik werden eine 32–34m-Terrasse (>250 000 BP), eine 22–24m-Terrasse (238 000 BP), eine 12–13m-Terrasse (108 000–140 000 BP) und zwei holozäne Terrassenniveaus ausgegliedert. Im Gegensatz hierzu interpretiert CIMIOTTI (1985), obwohl er sich wie GUILCHER auf GVIRTZMAN u. BUCHBINDER (1978) bzw. GVIRTZMAN et al. (1977) beruft, grundsätzlich anders. Bei CIMIOTTI ist das oberste Niveau eine 24m-Terrasse (>250 000 BP), das mittlere Niveau liegt bei 16 m (230 000–240 000 BP), das untere Niveau bei 8–12 m (105 000–140 000 BP). Sieht man einmal von diesen Diskrepanzen ab, so ist der tektonischen Interpretation von Luftbildern herausgehobener Korallenriffe, wie sie CIMIOTTI vorgenommen hat, nicht zu folgen. Dies gründet sich u. a. auf die heterogene Zusammenstellung der „absoluten“ Datierungen aus der Literatur, die nicht neueren Erkenntnissen entsprechend gewichtet wurden, sowie auf eine fehlende Interpretation und Berücksichtigung der aktuellen Meeresspiegelschwankungsforschung. Daher können diese Untersuchungen keine Hilfestellung für die Terrassenchronostratigraphie im Untersuchungsgebiet des Gebel Zeit erbringen.

Dies gilt aber grundsätzlich für alle vorgestellten Untersuchungen benachbarter Regionen. Kennzeichen der aktualisierten Erforschung der Meeresspiegelschwankungen ist es ja gerade (vgl. IGCP-200, Late Quaternary Sea Level Change), daß nur die Erstellung regional gültiger Meeresspiegelschwan-

kungskurven für möglich gehalten wird. Eine ubiquitäre Gültigkeit, wie sie vom klassischen eustatischen Modell noch geliefert wurde, wird von der überwiegenden Mehrheit der Bearbeiter heute verneint (vgl. RADTKE u. RATUSNY 1987).

Die im Untersuchungsgebiet gefundene +15m-Terrasse ist aufgrund der Th/U- und ESR-Datierungen mit Sicherheit in das letzte Interglazial zu stellen. Unter Berücksichtigung neuer Untersuchungen zur Entwicklung des Meeresspiegelniveaus in den letzten 150 000 Jahren (BENDER et al. 1979, CHAPPELL 1981 und CRONIN 1983) muß davon ausgegangen werden, daß während des Maximums des letzten Interglazials (5e-Stufe) der Meeresspiegel ca. 5 m ($\pm 2-4$ m) über dem heutigen Meeresniveau gelegen hat und die beiden relativen Maxima 5a und 5c ca. 10–20 m unter dem heutigen Meeresspiegel angesetzt werden müssen. Dies bedeutet für das Untersuchungsgebiet, daß, bezogen auf das +15-m-Niveau und dessen Einstufung in das absolute Maximum des letzten Interglazials, die beiden relativen Maxima nur unter dem heutigen Meeresspiegelniveau gefunden werden können. Für den Südtteil des Gebel Zeit deutet die tiefere Lage eines entsprechend alten Riffs (vgl. Probe C 17 in Tab. 2), das hier von mächtigen Schwemmschuttfächern überdeckt ist, bereits eine deutlich geringere Hebung an. Nur in Gebieten mit stärkerer tektonischer Hebung werden sich die relativen Maxima des letzten Interglazials oberhalb des heutigen Meeresspiegels auffinden lassen (z. B. auf Papua-Neu Guinea, CHAPPELL 1981).

Über die älteren, höhergelegenen Terrassen im Untersuchungsgebiet läßt sich nichts Verlässliches aussagen. Geht man davon aus, daß die von der klassischen Theorie der eustatischen Meeresspiegelschwankungen einmal geforderte zunehmende Absenkung des Meeresspiegels während des Pleistozäns keine Gültigkeit mehr hat, so ist anzunehmen, daß eine mehr oder weniger kontinuierliche Hebung den Bereich des Untersuchungsgebietes während des gesamten Jung- und Mittelpleistozäns betroffen hat.

7. Zusammenfassung der Ergebnisse

Entlang der Küste im Bereich des Gebel Zeit lassen sich deutlich getrennt mehrere ehemalige Strandniveaus ausgliedern. Die markanteste Erscheinung ist ein durch gut erhaltene Korallenriffe belegtes ± 15 m-Niveau, das dem Maximum des letzten Interglazials (Stufe 5e) zugeordnet werden kann. Diese Einstufung wird sowohl durch Th/U- als auch durch ESR-Datierungen gestützt. Ein meist bei ca. +2 m auftre-

tendes Riff hat vermutlich mittelholozänes Alter. Zwei ältere Strandlinien bei ± 50 m und ± 65 m NN lassen sich nur pauschal als mittel- bis altpleistozän einstufen. Für den Bereich des Gebel Zeit muß, unter Berücksichtigung der neueren Erkenntnisse über die weltweite Entwicklung des Meeresspiegelniveaus im Mittel- und Jungpleistozän, angenommen werden, daß eine Hebung von ca. 5–10 m in den letzten 125 000 Jahren erfolgt ist. Im Süden des Gebel Zeit, wo der Küstensaum sich verbreitert und das Grundgebirge weitgehend von jüngeren Sedimenten überlagert wird, liegt das letztinterglaziale Riff, überdeckt von mächtigen Schwemmschuttfächern, dagegen nur ± 5 m über dem Meeresspiegel (Probe C 17). Für diesen Bereich läßt sich damit zeigen, daß das letztinterglaziale Strandniveau keine Heraushebung erfahren hat. Diese, auf kurze Distanz wechselnde tektonische Entwicklung findet in der charakteristischen Ausbildung der Oberflächenformen ihren augenfälligen Ausdruck.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen über Strandterrassen an der afrikanischen Küste des Golfs bzw. des Roten Meeres und an der Sinai-Küste zeigt, daß es eine überregionale Übereinstimmung hinsichtlich der Abfolge, der spezifischen Ausbildung und der Höhenlage bestimmter Strandniveaus nicht gibt. Der Grund hierfür könnte sowohl in regionaltektonisch unterschiedlichen Entwicklungen als auch in Fehlbestimmungen und Fehlinterpretationen im Hinblick auf die bislang vorgenommenen absoluten Altersbestimmungen zu suchen sein.

Literatur

- ARKELL, W. J.: Aspects of the Geology of certain fossil reefs. In: *Journal of Ecology* 16, 1928, S. 134–149.
- BENDER, M. L., FAIRBANKS, R. G., TAYLOR, F. W., MATTHEWS, R. K., GODDARD, J. G. u. BROECKER, W. S.: Uranium-series dating of the Pleistocene reef tracts of Barbados, West Indies. In: *Geol. Soc. Am., Bull.* 1, 90 (1), 1979, S. 577–594.
- BERRY, L., WHITEMAN, A. J. u. BELL, S. V.: Some radio-carbon dates and their geomorphological significance, emerged reef complex of the Sudan. In: *Z. Geomorph.* N.F. 10, 1966, S. 119–143.
- BULLEN-NEWTON, R.: Pleistocene shells from raised Beach Deposits of the Red Sea. In: *Geol. Magazine*, N.S. 7, 1900, S. 500–514.
- CHAPPELL, J.: Relative and average sea level changes, and endo-, epi- and exogenic processes on the Earth. In: ALLISON, I. (ed.): *Sea Level, Ice and Climatic Change*, IAHS Publ. 131, 1981, S. 411–430.
- CIMIOTTI, U.: Küstenmorphologie und junge Tektonik an der Westküste des Golfes von Elat-Aqaba. In: KLUG, H. (Ed.): *Küste und Meeresboden. Neue Ergebnisse geomorphologischer Feldforschung*. Kieler Geogr. Schr. 62, 1985, S. 97–114.
- CRONIN, T. M.: Rapid sea level and climatic change: Evidence from continental and island margins. In: *Quat. Sci. Rev.* 1 (2), 1983, S. 177–214.
- DULLO, W.-C.: Variation in diagenetic sequences: An example from Pleistocene reefs, Red Sea, Saudi Arabia. In: SCHROEDER, J. H. u. PURSE, B. H. (eds.): *Reef Diagenesis*. Berlin 1986, S. 77–90.
- EDWARDS, R. L., CHEN, J. H. u. WASSERBURG, G. J.: ^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th - ^{234}Th systematics and the precise measurement of time over the past 500,000 years. In: *Earth and Planetary Science Letters* 81, 1987, S. 175–192.
- FELIX, J.: Studien über tertiäre und quartäre Korallen und Riff-Kalke aus Ägypten und der Sinaihalbinsel. In: *Z. dt. Geol. Ges.* 56, 1904, 168–206.
- FRIEDMAN, G.: A fossil shoreline reef in the Gulf of Elat (Aqaba). In: *Israel Journ. Earth-Science* 14, 1966, S. 86–90.
- GVIRTZMAN, G. u. BUCHBINDER, B.: Recent and Pleistocene coral reefs and coastal sediments of the Gulf of Elat. In: Tenth Int. Congr. on Sedimentology, Guide Book Part II: Postcongr., exc. No. 4. Jerusalem 1978, S. 163–181.
- GVIRTZMAN, G., BUCHBINDER, B., SNEH, A., NIR, Y. u. FRIEDMAN, G. M.: Morphology of the Red Sea fringing reefs: a result of the erosional pattern of the last-glacial low-stand sea level and the following Holocene recolonization. In: *Second Symp. Int. coraux et récifs corall. fossiles*, *Mém. B.R.G.M.* 89, 1977, S. 480–491.
- HUME, W. F. u. LITTLE, O. H.: Raised beaches and terraces of Egypt. In: *Int. Geogr. Union, First Rep., Comm. Pliocene and Pleistocene Terr.* Paris 1928, S. 9–15.
- IVANOVICH, M. u. HARMON, R. S. (eds.): *Uranium series disequilibrium: Applications to environmental problems*. Oxford 1982.
- KAUFMANN, A.: A distribution of $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ages in corals and the number of Last Interglacial High-Sea Stands. In: *Quat. Res.*, 25 (1), 1986, S. 55–62.
- KHEDR, E. A.: Sedimentological evolution of the Red Sea continental margin of Egypt and its relationship to sea-level changes. In: *Sediment. Geol.* 39, 1984, S. 71–86.
- KOBA, M., IKEYA, M., MIKI, T. u. NAKATA, T.: ESR ages of the Pleistocene coral reef limestones in the Ryukyu Islands Japan. In: IKEYA, M. u. MIKI, T. (eds.): *ESR dating and dosimetry. First Int. Symp. on ESR dating, Ube-Akiyoshi, Japan, 1.–4. 9. 1985*. Tokyo 1985, S. 93–104.
- MESOLELLA, K. J., MATTHEWS, R. K., BROECKER, W. S. u. THURBER, D. L.: The astronomical theory of climatic change: Barbados data. In: *Journal of Geology* 77, 1969, S. 250–274.

- NESTEROFF, W. D.: Age des derniers mouvements du graben de la Mer Rouge déterminé par la méthode du C-14 appliquée aux récifs fossiles. In: Bull. Soc. Geol. France 7 (1), 1960, S. 415-418.
- NIR, D.: Marine terraces of southern Sinai. In: The Geogr. Rev. 61, 1971, S. 32-50.
- RADTKE, U.: Palaeosea-level and discrimination of the last and the penultimate interglacial fossiliferous deposits by absolute dating methods (Th/U, ESR) and geomorphological investigations: Illustrated from marine terraces in Chile. In: HOFMEISTER, B. u. Voss, F. (Hrsg.): Beiträge zur Geographie der Küsten und Meere. Ergebnisse der Symposien Sylt 1986 und Berlin 1987. Berliner Geographische Studien 25, 1987, S. 314-342.
- RADTKE, U. u. GRÜN, R.: ESR dating of corals. In: Quat. Sc. Rev., 1988 (im Druck).
- RADTKE, U., GRÜN, R. u. SCHWARCZ, H.: New results from ESR dating of the Pleistocene coral reef tracts of Barbados (W.I.). In: Quat. Res., 1988 (im Druck).
- RADTKE, U. u. RATUSNY, A.: Meeresspiegelschwankungen im Quartär - forschungsgeschichtlicher Rückblick und neue Perspektiven. In: HOFMEISTER, B. u. Voss, F. (Hrsg.): Beiträge zur Geographie der Küsten und Meere. Ergebnisse der Symposien Sylt 1986 und Berlin 1987. Berliner Geographische Studien 25, 1987, S. 9-33.
- SAID, R.: The geology of Egypt. Amsterdam/New York 1962.
- SHACKLETON, N. J. u. OPDYKE, N. D.: Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-238. Oxygen temperatures and ice volumes on a 105 and 106 year scale. In: Quat. Res. 3, 1973, S. 39-55.
- VEEH, H. H. u. GIEGENGACK, R.: Uranium-series ages of corals from the Red Sea. In: Nature 226, 1970, S. 155-157.

REALE BODENBEDECKUNG IN SÜDOST-TUNESIEN*)

Mit 3 Abbildungen, 1 Photo, 5 Tabellen und 1 Beilage (I)

DIETER ANHUF und PETER FRANKENBERG

Summary: The actual soil cover of South-Eastern Tunisia

The real vegetation cover and the agricultural landscape of South-Eastern Tunisia are analysed by interpreting a very detailed map as well different tables concerning land-use in these marginal regions of the Sahara. Such analyses seem to be important with regard to further studies of the regional climate. Thus, the present paper is especially concerned with changes of the landscape. The quasi-natural steppe areas are more and more vanishing on the mainland. On the island of Djerba, only small relicts of nearly "wild" flora exist. Also the agrarian landscape changes on the mainland and on the island of Djerba. The replacement of olive-trees by the plantation of other fruit-trees seems to be very apparent.

Einführung

Der Regenfeldbau dringt heute nördlich und südlich der Sahara immer weiter in früher lediglich durch nomadische Weidewirtschaft genutzte Räume vor. Damit verändert sich die Bodenbedeckung dort in extremer Weise. Dies hat gravierende Auswirkungen auf das Klima zur Folge (Wasserhaushalt, Albedo, Rauigkeit). Gerade die präzise Aufnahme der aktuellen Bodenbedeckung in langjährigen Feldstudien kann somit einen wichtigen Beitrag zur Ana-

lyse des Systems Vegetation (natürliche, kulturelle)/Klima in gegenüber anthropogenen Eingriffen besonders sensiblen Räumen leisten.

Die hier vorgestellten Studien beinhalten die kartographische und statistische Erfassung der Bodenbedeckung und ihres Wandels in einem besonders sensiblen randsaharischen Gebiet Südosttunesiens, der Jeffara-Steppe und der Insel Jerba. Die Jeffara-Steppe ist ein früher ausschließlich durch nomadische Weidewirtschaft genutzter Raum, die Insel Jerba demgegenüber ein seit Jahrtausenden intensiv acker- und gartenbaulich genutztes, oasenartiges Kulturland. Der Vergleich beider Räume des Untersuchungsgebietes zeigt die unterschiedliche Entwicklung der Bodenbedeckung während der vergangenen Jahrzehnte auf.

Der Untersuchungsraum

Das Untersuchungsgebiet wird in Lage und Struktur über eine Auswertung der Landsat-Szene vom

*) Für die finanzielle Unterstützung des Forschungsvorhabens sei der DFG gedankt, für die Mitarbeit im Gelände: CH. MERGARD, P. FRANKEN und V. MÜLLERS.