

Sonderdruck aus

Deutsche
Forschungsgemeinschaft

Nordost-Afrika: Strukturen und Ressourcen

Ergebnisse aus
dem Sonderforschungsbereich
„Geowissenschaftliche
Probleme in ariden und
semiariden Gebieten“

Herausgegeben von
Eberhard Klitzsch und
Ulf Thorweihe

(1999)

11 Terrestrische Paläoklimatologie heute arider Gebiete: Resultate aus dem Unteren Wadi Howar (Südöstliche Sahara/Nordwest-Sudan)

Stefan Kröpelin

11.1 Einleitung

Trotz der Bedeutung von Eisbohrkernen und mariner Stratigraphien für die hochauflösende Klimageschichte langer Zeiträume kommt der terrestrischen Paläoklimatologie der bewohnbaren Kontinente eine besondere Stellung zu, da es sich hier um den menschlichen Lebensraum der Vergangenheit und der Zukunft handelt, der endlich im Mittelpunkt des Interesses steht. Bis heute ist weitgehend ungeklärt, in welchem Ausmaß die aus Tiefsee- und grönländischen oder antarktischen Bohrkernen abgeleiteten klimatischen Schwankungen auf die Festländer zu übertragen sind.

Exemplarisch werden im folgenden Ergebnisse aus dem Bereich des hochkontinentalen Unteren Wadi Howar vorgestellt. Nur wenige Gebiete der Erde waren derart drastischen Änderungen des Klimas und der Umweltverhältnisse unterworfen wie diese der südöstlichen Sahara zugehörige Region, die mit rund 50.000 km² mehr als die Fläche der Schweiz einnimmt.

Es ist überraschend, daß noch im ausgehenden 20. Jahrhundert geowissenschaftliche Grundlagenforschung in diesem Raum erforderlich war, während selbst von der Oberfläche des Planeten Mars präzise Kartierungen der alten Entwässerungssysteme vorliegen. Das 400 km lange Tal des Unteren Wadi Howar bleibt dagegen bis heute in den Karten und Atlanten unvermerkt.

Das Wadi Howar ist die größte reliktsche Abflußleitlinie der östlichen Sahara (Abb. 11.1). Seine Quelläste befinden sich in den bergigen Regionen zwischen dem Tafelbergland von Ennedi und dem vulkanischen Jebel Marra. Das Tal durchzieht dann die Ebenen am Südsaum der Sahara in nordöstlicher Richtung und findet auf allen bisherigen topographischen Karten südlich des Jebel Rahib sein vermeintliches Ende. Nur bis zu diesem Punkt lagen einige geologische, botanische und archäologische Beobachtungen aus den 30er Jahren vor (Almásy 1934, Bagnold 1933, Frobenius und Rhotert 1934, Sandford 1936, Shaw 1936).

Erst hier beginnt das im folgenden dargestellte Untersuchungsgebiet, welches sich in einem etwa 100 km breiten und 500 km langen Streifen ent-

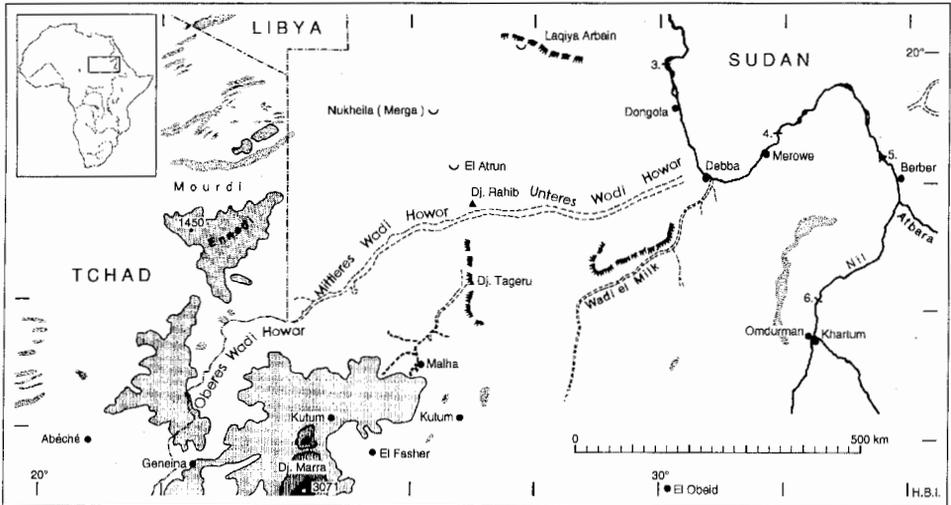


Abb. 11.1: Lage des Wadi Howar im Nordwest-Sudan.

lang des Unteren Wadi Howar ostwärts bis zum Nil erstreckt. Dieser Raum zwischen 17° und $18^{\circ}30'N$ sowie $26^{\circ}40'$ und $31^{\circ}E$ war zu Beginn des Sonderforschungsbereichs 69 nicht nur in geowissenschaftlicher Hinsicht praktisch unbekannt.

Lediglich Interpretationen von Landsat-MSS-Aufnahmen ließen eine Fortsetzung der Talstruktur vermuten (GMRD/BRGM 1981, Meissner und Schmitz 1983). Diese ausschließlich auf Fernerkundungsdaten basierenden Karten entbehrten jedoch der Geländekontrolle und konnten deshalb weder Hinweise auf den Zeitpunkt der Talanlage noch auf die letzte fluviale Nutzung des als „Recent Alluvium, Wadi Fills“ bzw. „Entwässerungsleitlinie“ auskartierten Wadisegments liefern.

Bei den seit 1981 durchgeführten Geländearbeiten galt es, alle verfügbaren Indizien über die ehemaligen Umweltverhältnisse im Bereich des Unteren Wadi Howar sowie dessen frühere Anbindung an den Nil zu sammeln, um Aussagen zum spätquartären, insbesondere holozänen Klimawandel in der heute abflußlosen Südost-Sahara treffen zu können (Kröpelin 1993a, Pachur und Kröpelin 1987).

11.2 Die rezenten Verhältnisse

11.2.1 Physiographie

Das etwa 1050 km lange Tal des Wadi Howar kann aufgrund hydrologischer, geomorphologischer und geologischer Kriterien in drei Hauptabschnitte gegliedert werden (Gabriel et al. 1985, Abb. 11.1). Der Bereich des Oberen Wadi Howar umfaßt den Einzugsbereich des rund 250 km langen Oberlaufs, der heute in der Dornstrauchsavanne liegt. Der als Mittleres Wadi Howar bezeichnete Talabschnitt quert die etwa 700–500 m über dem Meer gelegenen, nur episodisch grasbestandenen Ebenen am Südrand der Sahara in ost-nordöstlicher Richtung und ist 390 km lang.

Der bis dahin bekannte Abschnitt des Wadi Howar endet auf den älteren Karten 640 km unterhalb seiner Quelle bei 17°30'N–27°25'E. Dieses als Binnendelta des Wadi Howar erscheinende Gebiet liegt im Verzahnungsbe- reich der südlichen Ausläufer der Grundgebirgsketten des Jebel Rahib mit den nördlichsten Ausliegern des Sandstein-Plateaus des Jebel Tageru. Hier befindet sich eine Talverengung, die an ihrer engsten, nur etwa 2 km breiten

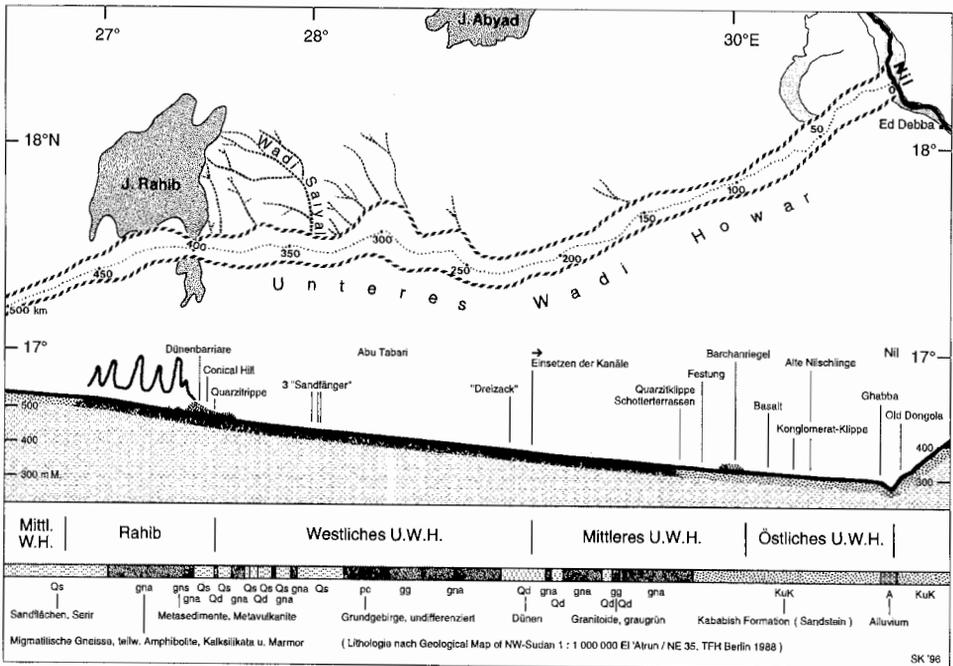


Abb. 11.2: Positionssystem (Oben), schematisches Längsprofil mit topographischen Orientierungspunkten (Mitte), Gliederung und geologischer Untergrund (Unten) des Unteren Wadi Howar. Zahlen entlang des vermutlichen Talwegs zeigen die Entfernung von der Mündung in den Nil in Kilometern.

Stelle von einem Dünenriegel versperrt ist und jenseits derer nur vage Spekulationen über eine ehemalige Anbindung an den 400 km entfernten Nil existierten (King 1913, Newbold 1924).

Hier beginnt der im folgenden und in einer ausführlicheren Darstellung (Kröpelin 1993a) schwerpunktmäßig behandelte Bereich des Unteren Wadi Howar (UWH), der wiederum in vier Teilabschnitte unterteilt werden kann. Ein Positionierungssystem zur räumlichen Koordinierung der insgesamt über 300 Aufschlüsse, Fundplätze, Baggerschnitte und Probenahmestellen, das im Kilometer-Maßstab entlang der wahrscheinlichen Tiefenlinie des Wadi angelegt ist (Abb. 11.2), erlaubt eine schnelle Lokalisierung der einzelnen Punkte, läßt Fund- und Profilzusammenhänge erkennen und zeigt die Entfernung von der ehemaligen Mündung in den Nil.

Der Bereich des Jebel Rahib, dessen Lokalitäten zwischen den Positionen 480 und 395 liegen, umfaßt neben dem eigentlichen Bergland dessen westliches, südliches und östliches Vorland und somit auch den Bereich des Binnendeltas und die Dünenbarriere (Abb. 11.2).

Der westliche und zugleich längste Abschnitt des Unteren Wadi Howar wird durch die Positionen 395 und 210 begrenzt und schließt östlich an die Dünenbarriere an. Das breite Flachmuldental ohne deutliche Böschungen ist bis auf die unübersichtliche Passage durch die Talschwelle von Abu Tabari (Positionen 320 bis 280) morphologisch einheitlich. Sein auffälligstes sedimentologisches Charakteristikum sind weit verbreitete Vorkommen z. T. oberflächlich aufgeschlossener karbonatischer Seeablagerungen.

Der mittlere Abschnitt des Unteren Wadi Howar (Positionskilometer 210 bis 90) ist morphologisch gekennzeichnet durch kanalartige Talungen im Haupttal, die den Talboden in einem anastomosierenden Muster untergliedern und eine nicht von Sand bedeckte Analogie zu den sogenannten Radar Rivers Südagypens darstellen (Kröpelin 1990a, McHugh et al. 1989). Sedimentologisch bietet dieser Abschnitt ein breites Spektrum fluvialer und semilakustriner Akkumulationen verschiedener Zeitstellungen und unterschiedlicher pedogenetischer Überprägung sowie an mehreren Stellen auftretende Travertine.

Der östliche Abschnitt umfaßt die untersten 90 Kilometer des Unteren Wadi Howar und dessen weiten Mündungsbereich. Morphologisch wird er im Westen durch ein mehrere Kilometer breites, das Tal querendes Barchanfeld und im Osten durch den Nil begrenzt. Auch hier begegnet man einer Vielzahl fluvialer, limnischer und semilakustriner Ablagerungen, deren fazielle und genetische Analyse sich besonders im Verzahnungsbereich mit den alten Nilablagerungen als kompliziert gestaltet.

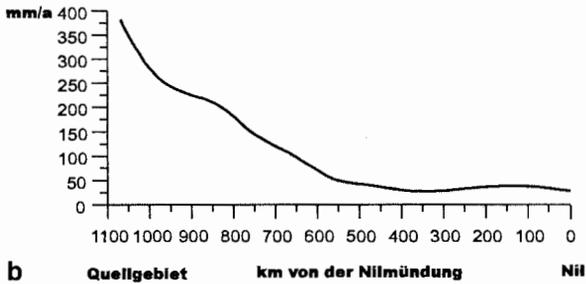
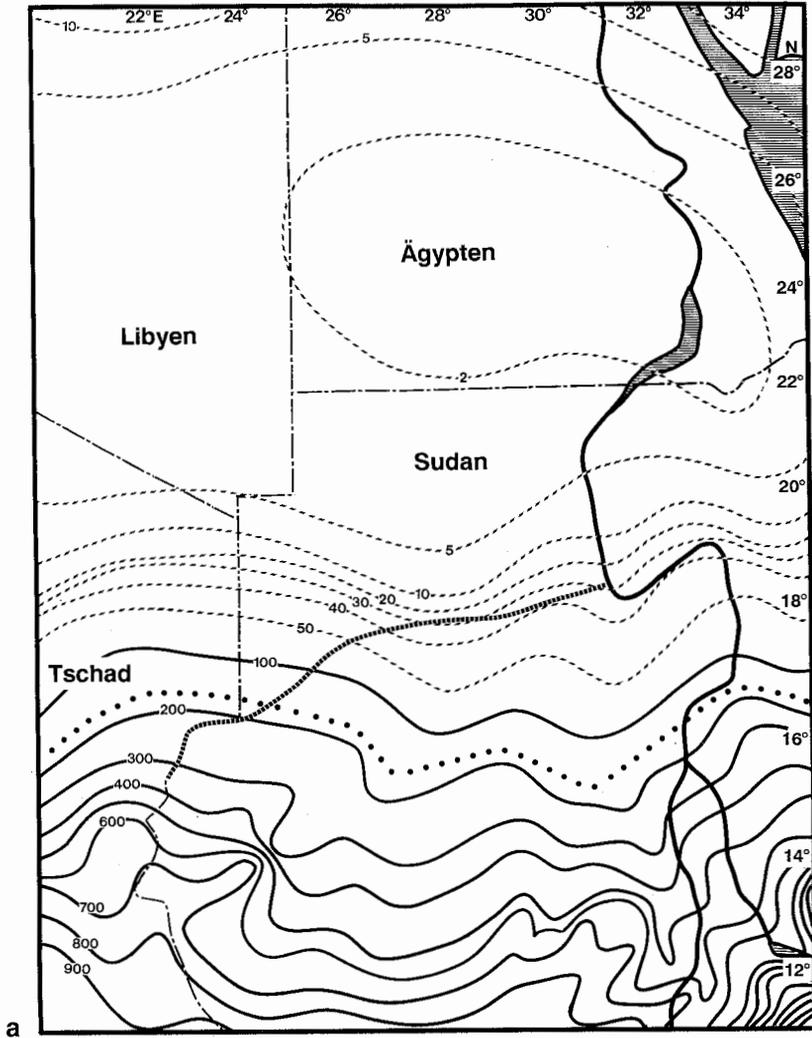


Abb. 11.3: a) Isohyetenkarte der östlichen Sahara in mm/a (nach Leroux 1983), b) Isohyetenverlauf entlang des Wadi Howar.

11.2.2 Heutiges Klima

Nach der Isohyetenkarte von Leroux (1983) liegt das Quellgebiet des Wadi Howar heute zwischen den 300mm- und 400mm-Isohyeten (Abb. 11.3a). Über eine Strecke von 300 km durchläuft es dann den Bereich zwischen 300 und 100 mm Jahresniederschlag, um bei etwa 17°N die 100mm-Isohyete und bei 17°15'N die 50mm-Isohyete zu schneiden (Abb. 11.3b). Der gesamte talabwärts gelegene Abschnitt des Unteren Wadi Howar verläuft damit nach Einnahme eines W-O-Verlaufs isohyetenparallel zwischen den 40mm- und 20mm-Isohyeten, wobei von einer hohen Niederschlagsvariabilität mit oft niederschlagslosen Jahren ausgegangen werden muß.

Für die seltenen Niederschläge und die noch selteneren Starkniederschläge mit ihrer großen Bedeutung für ephemeren Pflanzenwuchs, insbesondere die sogenannte Gizzu-Vegetation (Wilson 1978, Altmann 1990), sind meist nordwärts gerichtete Monsunaufläuffer während der Sommermonate verantwortlich zu machen, welche ihrerseits von außergewöhnlichen Lagen der innertropischen Konvergenzzone sowie des Ostjet abhängen (El-Fandy 1948, Hulme und Tosdevin 1989).

11.3 Fluvio-lakustrine Ablagerungen im Unteren Wadi Howar

Im Mittelpunkt der im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 69 durchgeführten quartärgeologischen Geländearbeiten stand die Analyse feuchtzeitlicher Entwässerungssysteme im Bereich zwischen dem Jebel Rahib und dem Nil, welche mit der übergeordneten Fragestellung einer möglichen Aufhebung des abflußlosen (endorheischen) Zustands der südöstlichen Sahara während der holozänen Feuchtphasen verknüpft ist.

Im folgenden werden einige Beispiele aus dem faziellen Spektrum fluvialer, limnischer, semilakustriner, phreatogener, pedogener und äolischer Akkumulationen des Spätquartärs unter Berücksichtigung biogener Indikatoren angerissen, die an anderer Stelle eingehend erläutert sind (Kröpelin 1993a).

11.3.1 Die pleistozänen Schotterterrassen und der Nachweis von Ferntransport

Zwischen den Positionen 130 und 120 werden die Ränder eines hier auf 400 m aufgeweiteten und etwa 10 m eingetieften Talkanals von mächtigen Schotterterrassen gesäumt (Abb. 11.4). Die überwiegend gut bis sehr gut gerundeten Gerölle haben Durchmesser zwischen 5 und 20 cm und sind in eine rötliche, kaum verfestigte, sandig-feinkiesige Matrix eingebettet.

Die polymikten Gerölle bestehen im wesentlichen aus Quarziten und anderen resistenten Metamorphiten. Das polarisationsoptisch bestimmte petrographische Spektrum umfaßt vor allem Alkalifeldspat-Gneise, die z. T. stärker amphibolitführend und stark deformiert bis mylonitisiert sind. Daneben treten Amphibolite, Sand- und Siltsteine sowie Mikroclin- und Orthoklas-führende Brekzien auf.

Von besonderem Interesse ist das Auftreten eines trotz fortgeschrittener Alteration und Rekristallisierung noch eindeutig identifizierbaren Porphyrs mit idiomorphen Sanidinkristallen in partiell entglaster und saumartig rekristallisierter Grundmasse, welche die Fließtextur noch deutlich erkennen läßt (Abb. 11.5).

Allein das Vorkommen dieses Rhyoliths inmitten eines ausgedehnten metamorphen Grundgebirges gibt schlüssigen Anlaß, einen beträchtlichen

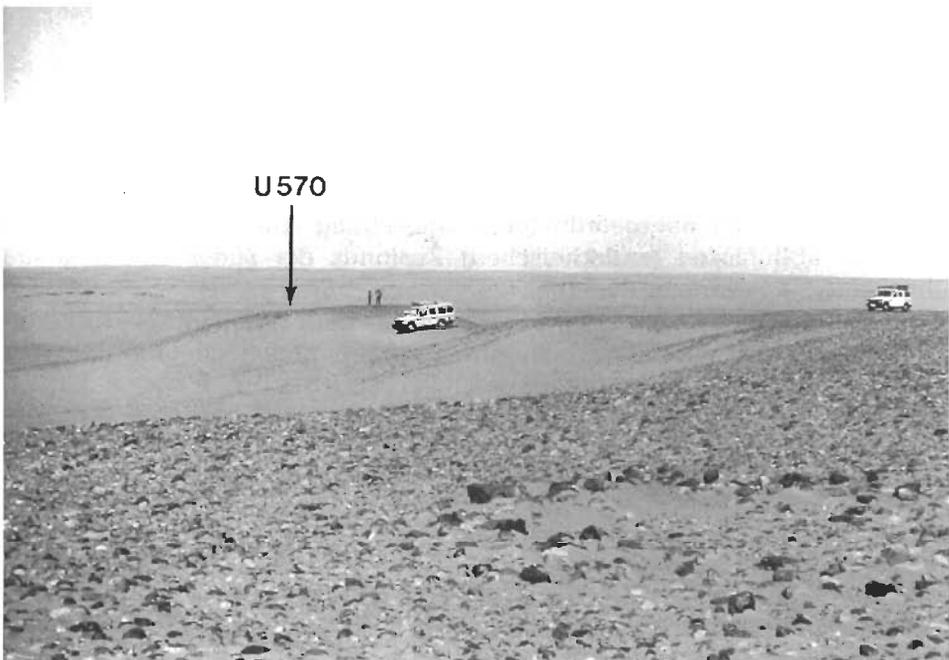


Abb. 11.4: Schotterterrassen U 570, 124 km vor der Mündung in den Nil.

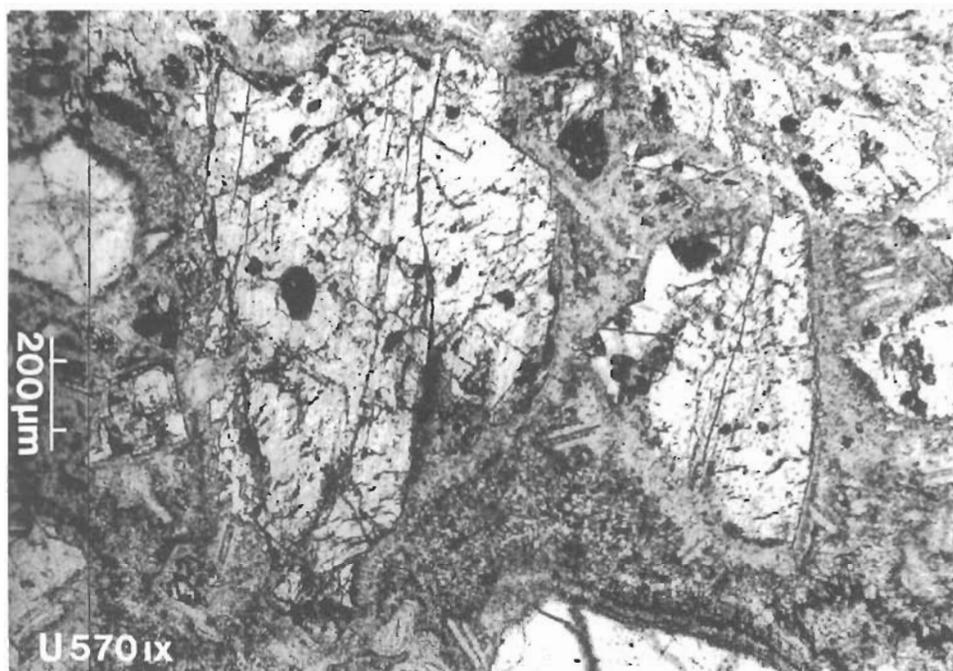


Abb. 11.5: Dünnschliff eines rhyolithischen Porphyrs aus Terrassenschottern 124 km vor der Mündung in den Nil.

Fertransport anzunehmen. Derartige saure vulkanische Gesteine sind aus dem gesamten Bereich des Unteren Wadi Howar einschließlich des Jebel Rahib unbekannt (persönliche Mitteilung G. Franz und H. Schandelmeier, Berlin 1988, Jas et al. 1989, Klitzsch und Wycisk 1987). Ebensowenig läßt dies der geologische Wissensstand in noch nicht kartierten Bereichen dieser Region erwarten, aus der bisher ausschließlich basische Vulkanite beschrieben werden.

11.3.2 Herkunft der Schotter und Umkehr der Abflußrichtung

Ältere Konglomerate treten im Unteren Wadi Howar an mehreren Stellen zwischen dem Nil und dem Abu-Tabari-Bereich auf (Positionen 0 bis etwa 300). Weiter westlich konnten konsolidierte Konglomerate vergleichbarer zeitlicher Stellung und Ausprägung hingegen nicht mehr beobachtet werden, ebensowenig im Mittleren Wadi Howar; ähnliches gilt für das grobe Lockermaterial.

Folgt man der Feststellung, daß große Korndurchmesser unabhängig davon, ob sie in lockerem oder verfestigtem Zustand auftreten, im Unteren

Wadi Howar erst ab dem Abu-Tabari-Bereich, also nur im unteren, nilnahen Bereich vorkommen, und führt dies nicht auf Fundlücken zurück, so ergibt sich als einzig möglicher Schluß, daß die Grobschotter ursprünglich aus dem Osten, und nicht aus dem Westen geschüttet worden sind. Ähnliches scheint übrigens auch für das südlich gelegene Wadi el Milk zu gelten. Hinzu kommt das sehr geringe Talgefälle, welches einen Ferntransport von Schottern aus dem gegenwärtigen Quellgebiet zwischen Jebel Marra und Ennedi über mehr als 900 km ausschließen läßt. Zudem scheint in den Konglomeraten wie in den lockeren Schottern auch eine Abnahme der Korngröße von Ost nach West entwickelt zu sein. Auch die undeutlichen, nach Südwest gerichteten Talstrukturen, welche von der alten, nördlich von Ghabba gelegenen Nilschlinge ausgehen, sind Indizien einer umgekehrten Entwässerungsrichtung.

Das gewichtigste Argument stellen die erwähnten rhyolithischen Gerölle dar. Als potentielle Liefergebiete von Rhyolithen kommen im regionalen Umfeld des Wadi Howar nach dem gegenwärtigen Wissensstand nur die Red Sea Hills (persönliche Mitteilung J. McCauley, Flagstaff 1989) und die Bayuda in Betracht (Almond et al. 1969, Barth et al. 1981). Eine Schüttung von den Red Sea Hills nach Westen während der sogenannten Cobble Phase (McCauley et al. 1986) würde allerdings voraussetzen, daß zu diesem Zeitpunkt noch kein Vorgänger des heutigen Nils existierte; dies entspricht der mehrfach geäußerten Auffassung, daß das Nilssystem in seiner heutigen Form ein geologisch junges Phänomen darstellt, welches frühestens seit dem späten Miozän (Said 1981) besteht.

Umkehrungen der Abflußrichtungen sind trotz der relativ stabilen tektonischen Verhältnisse in der Flußgeschichte Nordafrikas nicht selten. Falls die für das Wadi Howar aufgestellte Hypothese zutrifft, müßte zu einem mittel-tertiären Zeitpunkt das Gefälle, welches heute allein bis zum Jebel Rahib über 150 m beträgt, um etwa den doppelten Betrag verkippt gewesen sein, was angesichts der noch heute aktiven plattentektonischen Prozesse im Roten Meer und dessen Randketten durchaus möglich erscheint. Eine dermaßen große Verkipfung ist für das Quartär wohl auszuschließen.

Die primäre Anlage und Entstehung des Unteren Wadi Howar dürften demnach auf eine ehemals umgekehrte Abflußrichtung und Schüttungen aus den Red Sea Hills zurückgehen. Der Oberlauf des Wadi Howar wäre hingegen jüngeren Ursprungs als die kontinentale Wasserscheide westlich des heutigen Quellgebiets aktiv wurde. Dieser jüngere Teil wäre dann zu einem unbestimmten Zeitpunkt, möglicherweise zu Beginn der quartären Feuchtzeiten, von dem älteren Talsystem des Unteren Wadi Howar südlich des Jebel Rahib angezapft worden. Diese Deutung würde zu einer Erklärung der auffälligen Talverengung an dieser Stelle beitragen.

An der Freiwitterung und Aufarbeitung dieser Schotter und nachfolgender Umlagerung während des Pleistozäns bestehen keine Zweifel, da die Schotterterrassen im Wadi Howar aus völlig lockerem Material ohne jegliche Matrixverfestigung bestehen. Diese Resedimentationen dürften aufgrund der aufliegenden paläolithischen Acheuléen-Artefakte vor weit mehr als 200.000

Jahren stattgefunden haben (nach Uran/Thorium-Datierungen dieser Steinwerkzeuge in Südägypten durch Szabo et al. 1989), während jüngere Umlagerungen der Schotter noch im Holozän vorgekommen sind. Somit kann im Unteren Wadi Howar in kaum einer Schüttung fluvigenen Ursprungs eine polyzyklische Sedimentation ausgeschlossen werden, welche geologisch alte, freigewitterte Partikel in einen erneuten Transport- und Akkumulationskreislauf einbezogen hat.

11.3.3 Holozäne Alluvionen

Im Vergleich zu den mittelterziären bis spätpleistozänen Sedimenten und Talbildungen, deren chronologische Gliederung mangels direkter Datierungsmöglichkeiten unsicher bleiben muß, bieten die jüngeren Ablagerungen einen weit detaillierteren Einblick in die Umwelt- und Klimageschichte der südöstlichen Sahara während der letzten 10.000 Jahre.

Die holozänen Alluvionen des Unteren Wadi Howar decken das ganze Spektrum fluvialer Transportarten, Körnungen und Sedimentstrukturen ephemerer Flüsse in Trockengebieten ab (z. B. Pflaumbaum 1987, Picard und High 1973). Unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten bewirkten die Sedimentation von feinkörnigen Schlammablagerungen, Sanden und Kiesen bis zu Grobschottern.

11.3.3.1 Feinkörnige Fazies

Die Lokalität K 142 ist beispielhaft für sehr ausgedehnte und weit verbreitete Ablagerungen des mittleren UWH, welche hier geradezu einen eigenen Landschaftstyp darstellen (Abb. 11.6). Auf mehreren Befahrungen dieses Abschnitts entlang verschiedener Routen zeigte sich, daß einzelne zusammenhängende Ablagerungsräume Breiten bis zu zehn und Längen von mehreren zehn Kilometern einnehmen.

Die Basis dieser potamogenen Sedimente besteht im wesentlichen aus kiesführenden, sandigen Wadischüttungen, die in 250 cm Tiefe mit Rhizokonkretionen auf älter als 6400 ± 90 a B.P. (before present, d. h. Radiokarbon-Jahre vor 1950) datiert wurden. Die pelitreichen Toplagen weisen Flußauenmerkmale auf, die auf sehr ausgedehnte Überflutungsgebiete bei Hochwasser und nachfolgende Sumpflandschaften schließen lassen. Datierungen verkalkter Rhizome in 110 cm Tiefe ergaben ein Alter von 4765 ± 130 a B.P. Die Siltschlämme sind keine Schwebstoffe im engeren Sinne, die mit zunehmendem Abstand vom Stromstrich abnehmender Strömungsgeschwindigkeit zum Absatz kommen, noch zeigen sie eine gradierte Schichtung, wie sie bei einmaliger, kurzer Überflutung entsteht. Das homogene Gefüge deutet vielmehr auf wiederkehrende Zyklen von Überschwemmungen



Abb. 11.6: Potamogene Sumpfablagerungen K 142, 205 km vor der Mündung in den Nil.

gen und Durchfeuchtung über lange Zeiträume hin. Die Ablagerungen finden ihre aktualistische Entsprechung in den rund 500 km südlicher gelegenen Wadis Nord- und Zentralkordofans, die vergleichbare feinkörnige Sedimente ohne erkennbare Schichtung führen.

11.3.3.2 Kiesige Fazies

Im Unteren Wadi Howar trifft man häufig auf flache Kiesbänke und Kieswälle, die sich nur wenig vom meist flugsandbedeckten Umland abheben. Eine solche Lokalität mit kaum 40 cm hohen Kieswällen befindet sich 50 km vor der Nilmündung (K 113, Abb. 11.7). Solche fluvialen Ablagerungen erwecken zunächst den Eindruck eines einmaligen Schüttungsereignisses. Im künstlichen Aufschluß zeigt sich jedoch, daß die an der Oberfläche aufgeschlossenen Kiesrücken lediglich das letzte Ereignis eines mehrfachen fluvialen Zyklus widerspiegeln (Abb. 11.8). Ein 270 cm tiefer Baggerschnitt an dieser Stelle ergab insgesamt elf grobmaterialführende Kieslagen, die jeweils mit erosivem Kontakt mittel- bis grobkörnigen Sanden aufliegen.

Die Annahme eines früh- bis mittelholozänen Alters stützt sich neben der faziellen Ausprägung auf die Verzahnung der fluvialen Ablagerungen mit angrenzenden holozänen Limniten, in und auf welchen sich mehrere neolithische Fundplätze befinden, darunter Bestattungen mit Grabbeigaben und große, von Keramik übersäte Flächen (Abb. 11.7). Hier wurden auch

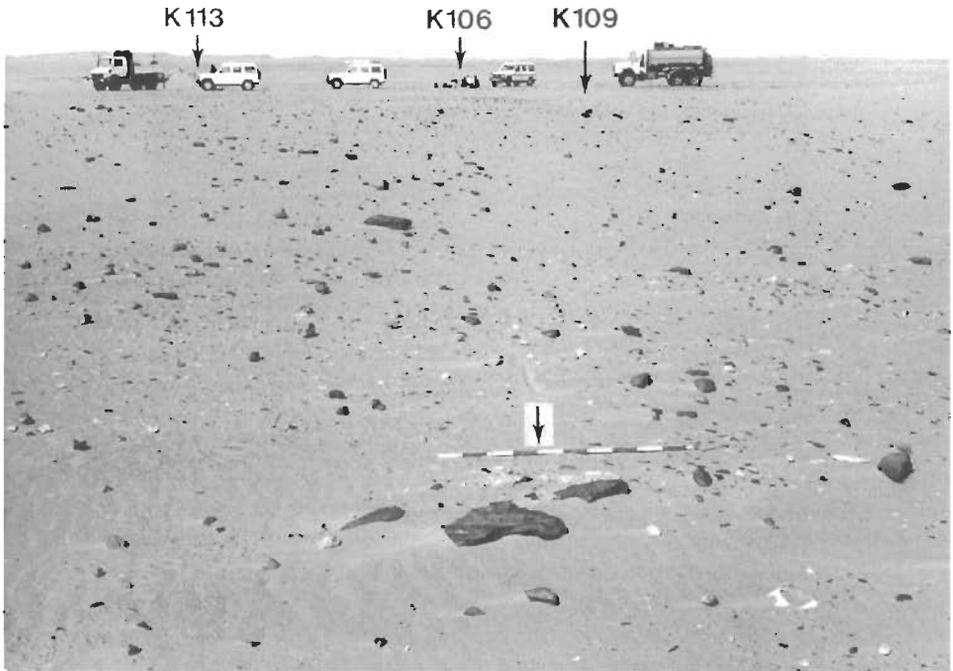


Abb. 11.7: Übersicht des Fundkomplexes 50 km vor der Mündung in den Nil: Kies-Profil K 113, Elefantenkiefer K 106, Fundstelle von *Etheria elliptica* K 109, prähistorischer Siedlungsplatz mit menschlichem Skelett (Pfeil).

zahlreiche Knochen von Großsäugern, u. a. von Elefant, Giraffe, Antilope (*Hippotragus equinus*) und anderen großen Boviden gefunden (det. J. Boessneck, München). Die Kollagendatierung eines Elefantenkiefers ergab ein Alter von 5430 ± 180 a B.P. (K 106); Süßwasseraustern der Art *Etheria elliptica* (K 109) ergaben Radiokarbon-Alter von 6835 ± 110 und 6655 ± 105 a B.P. (K 109, siehe Abschn. 11.4.2).

11.3.3.3 Hochenergieakkumulationen

Die Schotter östlich der pleistozänen Schotterterrassen stellen ein eindrucksvolles Beispiel von Hochenergietransport dar. In der 2 km talabwärts von U 570 gelegenen Lokalität A 69, ca. 122 km vor der Mündung in den Nil sind ausgedehnte Akkumulationen aus Terrassenschottern ausgebildet, die aufgrund der Stratigraphie und ihres sehr frischen Formenschatzes dem Holozän zugeordnet werden können (Abb. 11.9). Die dezimetermächtigen, z.T. girlandenartigen Schüttungen von Grobschottern ruhen auf feinlamierten Schwemm- und Dünensanden. Sie besitzen eine talabwärts gerichtete, zungenförmige Morphologie und überragen dammartig den umliegenden



Abb. 11.8: Obere Kieslagen von Aufschluß K 113.

den Talboden der Paläokanäle. Es handelt sich somit um lokale Umlagerungen der älteren Terrassenschotter.

Derartig hohe Energieniveaus erscheinen angesichts des geringen Talgefälles nur durch schwallartige Abkommen nach Bruch von Dünendämmen erklärbar. Selbst wenn es sich nur um eine lokale Verlagerung in der Größenordnung von wenigen Kilometern gehandelt haben dürfte, belegen solche Ereignisse außerordentliche Wasserabkommen, die von den talaufwärtigen Abschnitten und den lateralen Rumpfflächen aufgebracht werden mußten.



Abb. 11.9: Grobschotterschüttung A 69, 122 km vor der Mündung in den Nil.

11.3.4 Karbonatische Limnite

Karbonatische Limnite säumen den Nordrand des westlichen UWH und das südwestliche Vorland des Jebel Rahib, kommen aber auch in nördlich und südlich des Wadis gelegenen Deflationssenken und an bestimmten Stellen im Wadi selbst vor. Die Ablagerungen bestehen typischerweise aus Seekreiden (CaCO_3 -Gehalt > 50 Gewichtsprozent) oder Seemergeln (CaCO_3 -Gehalt < 50 Gew.-%).

Im westlichen Vorland des Jebel Rahib befinden sich unmittelbar nördlich der dünnengesäumten Hauptböschung des Wadi Howar quadratkilometergroße karbonatische Seeablagerungen, von welchen stellvertretend die 452 km westlich des Nil gelegenen Lokalitäten U 502 und U 578 vorgestellt seien (Abb. 11.10). Mit zunehmender Entfernung vom Wadi Howar erfolgt entgegen dem geringen Gefälle ein kontinuierlicher Übergang in eine dunkelgraue, muddeartige Uferfazies und schließlich in eine grobklastische Fazies kiesiger Wadisedimente.

Die durchgehend molluskenführenden Limnite bestehen aus relativ homogenen Seekreiden und Seemergeln mit ausgeprägten Molluskenhorizonten. Aus dem typischen nichtkarbonatischen Rückstand von 45 Gew.-%, dessen Quarzanteil ausschließlich der Fraktion $< 63 \mu\text{m}$ angehört, läßt sich schließen, daß während der Akkumulation der Seekreide keinerlei Flug-



Abb. 11.10: Karbonatische Limnite U 502 am Westrand des Jebel Rahib, 452 km vor der Mündung in den Nil.

sandeintrag stattgefunden hat. Dies dürfte seine Ursache in der großen Ausdehnung des Sees gehabt haben, wobei ein dichter Schilfgürtel eine zusätzliche Barriere gegen den äolischen Sandtransport gebildet haben mag, oder auch in einer geschlossenen Vegetationsdecke ringsum, welche eine Sandbereitstellung zum Zeitpunkt der Sedimentbildung verhindert oder zumindest eingeschränkt hat.

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen Gehäuse von Süßwasserschnecken (z. B. *Biomphalaria pfeifferi*, Abb. 11.11a) und Oogonien von Charophyten (Abschn. 11.5.3) in der scheinbar homogen aufgebauten Seekreide. In der stärkeren Vergrößerung tritt jedoch der hohe Anteil an Bioklasten in der Feinstfraktion des diatomitischen Sediments deutlich hervor (Abb. 11.11b).

Der freigelegte Seeboden des benachbarten Paläosees U 578 zeigte zahlreiche bis 12 cm lange Muscheln der Arten *Aspatharia arcuta* und *Aspatharia rubens* in Lebensstellung. Bereits hier sei auf die bemerkenswerte Tatsache des Vorkommens großer Nil-Flußmuscheln in einer Entfernung von über 450 km vom Nil hingewiesen.

Vor allem zeichnete sich diese Lokalität durch einen großen Gastropodenreichtum sowohl hinsichtlich der Individuenzahl wie des Artenspektrums aus, welches fast das gesamte Spektrum der im Unteren Wadi Howar nachgewiesenen aquatischen Gastropoden abdeckt (Abschn. 11.5.1). Die meisten

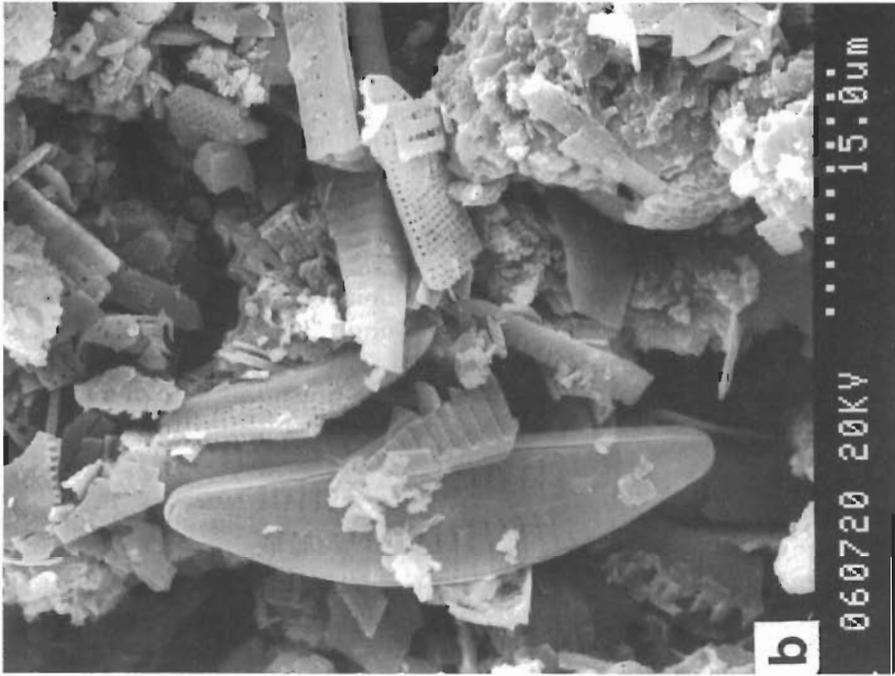
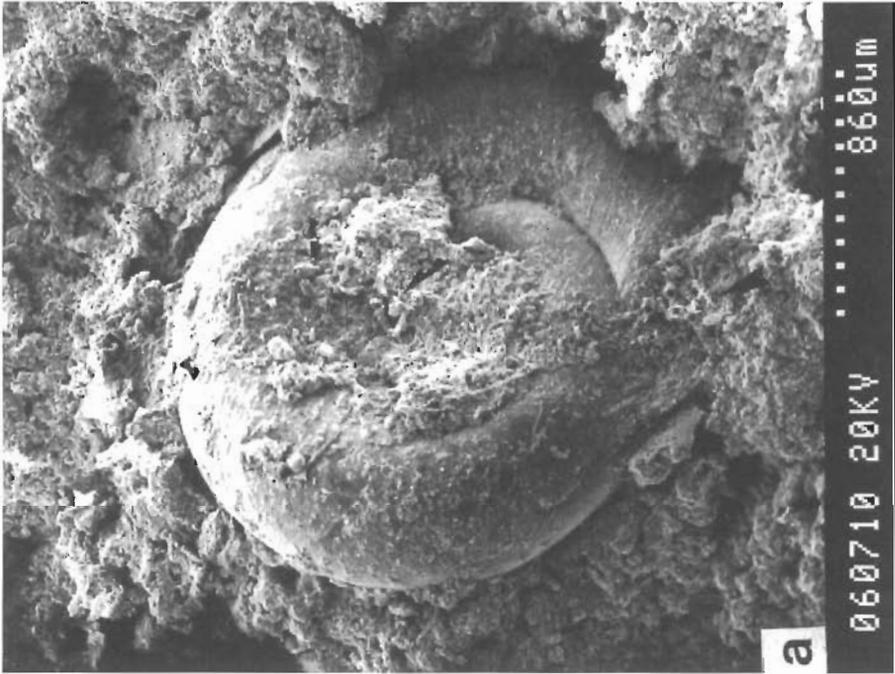


Abb. 11.11: Rasterelektronische Aufnahmen der diatomitischen Seekreide U 502: a) Gehäuse von *Biomphalaria pfeifferi*, b) Diatomeen und Bioklasten.

Arten sind Süßwasservertreter; die gut entwickelten Gehäuse von *Melanoi-
des tuberculata* mit Längen bis zu 3 cm sprechen auch bei dieser brackwas-
serverträglichen Art für Süßwasserbedingungen, ebenso die Ostrakoden-
spektren.

Eine für eine Tallage typische Lokalität befindet sich in Position 233 in
Form von Seekreidewällen inmitten ausgedehnter karbonatischer Seeablage-
rungen (A 75). Dieser überwiegend flugsandbedeckte Paläosee hatte einen
Durchmesser von mindestens 4 km. Er wird im Osten durch eine katarakt-
ähnliche Schwelle fast eingeebnet, wollsackartig verwitterter Gneise, die
das gesamte Wadi temporär abgedämmt haben müssen, im Norden durch
eine vom Nordrand geschüttete Schotterflur und im Westen durch schwärz-
liche Alluvialböden begrenzt. Bemerkenswert sind Abdrücke und Steinkerne
von Schilfstengeln, die z. T. den auf *Phragmites communis* deutenden rund-
lichen Querschnitt zeigen, z. T. aber auch ovale und rautenartige Formen, die
auf *Typha*, wenn nicht sogar auf *Papyrus*, hinweisen könnten.

Das Röntgendiagramm zeigt neben dominierendem Quarz und gerin-
gem Feldspatanteil einen Ca-Dolomit. Der relativ hohe Dolomitgehalt könnte
auf eine Einmündung evaporativ modifizierter Grundwässer mit erhöhtem
Mg/Ca-Verhältnis in flache lagunäre Seen oder eine detritische Herkunft
aus dem vereinzelt anstehenden Marmor zurückgeführt werden; die nächst-
liegende Erklärung der Magnesiumanreicherung dürfte jedoch in einer Aus-
trocknungsphase zu suchen sein, wofür die stratigraphische Toplage und
auch Isotopenanalysen (Abschn. 11.4.2) sprechen.

In diesen Limniten wurden umfangreiche Knochenfunde getätigt, dar-
unter das Gehörn eines domestizierten Rinds (*Bos taurus*, siehe Abschn.
11.5). An verschiedenen Stellen fanden sich auch deflativ freigelegte Men-
schenskelette im Sediment eingebettet, von denen einige aufgrund ihrer
Hockerstellung offensichtlich bestattet worden sind, andere hingegen in
einer unregelmäßigen, leicht gebeugten Lage auftraten (Abb. 11.12). Hieraus
ergibt sich der Verdacht auf einen Tod durch Ertrinken, zumindest aber auf
einen Tod vor Ort ohne Bestattung. In kaum 5 km Entfernung in östlicher
Richtung befinden sich mehrere der weiter unten behandelten Siedeldünen,
die auf eine dichte neolithische Besiedlung dieses Gebiets hinweisen.

Am nördlichen Talrand des Wadi Howar 15 km östlich des Jebel Rahib
befindet sich eine etwa 500 m lange, W-O-verlaufende und 60 m hohe Quarz-
zitrippe (Position 384). In deren südwärtigem Lee hat sich im Endpleistozän
eine rund 20 m in das Umland eingetiefte Deflationshohlform ausgebildet,
in der Abtragungsreste holozäner Seesedimente aufgeschlossen sind
(Abb. 11.13). Die auf rund 7000 a B.P. datierten, karbonatischen Limnite
besitzen eine Mächtigkeit von knapp 3 m. Das Vorkommen solcher Limnite
auf der Leeseite quer zum Passatwind stehender Anhöhen ist eine typische
Fundkonstellation in den nördlich und südlich an das westliche UWH
angrenzenden Gebieten.



Abb. 11.12 Skelett in Seeablagerungen, 232 km vor der Mündung in den Nil.

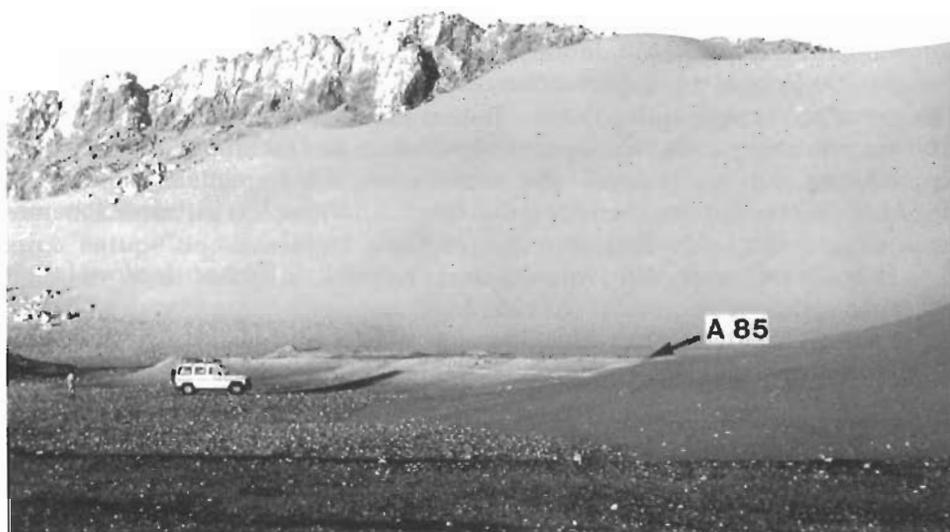


Abb. 11.13: Karbonatische Limnite am UWH, 385 km vor der Mündung in den Nil (Paläosee A 85).

11.4 Hochauflösende feuchtzeitliche Klimazeugen

11.4.1 Travertine

An den Böschungen der östlichen Hälfte des UWH und den oberhalb anschließenden Flächen treten an mehreren Stellen feingeschichtete Travertine auf. Das Hauptcharakteristikum dieser Travertinkrusten ist eine Wechsellagerung mit vagen Farbänderungen und unterschiedlichen Porositäten.

Die karbonatischen Quellabsätze der Lokalität K 133 befinden sich 121 km vor der Nilmündung in einer balmenartigen Aushöhlung im Sandstein am Südhang des Talkanals. Die topographische Position deutet darauf hin, daß diese Kalke an ehemaligen Grundwasseraustritten in Form von Schichtquellen aus dem flach lagernden Sandstein gebildet wurden.

Dünnschliffe zeigen eine sehr fein laminierte rhythmische Wechsellagerung aus helleren und dunkleren Schichten im Millimeter- bis Zehntelmillimeterbereich (Abb. 11.14). Die helleren Schichten weisen eine leichte Porosität und einen erhöhten Gehalt an Quarzschluffpartikeln auf, während die dunklen Laminae relativ dicht, überwiegend quarzfrei und häufig dunkel gefleckt sind. Nach der Kohlenstoffdatierung der Basislagen sind die Kalke ab etwa 8355 ± 120 a B.P. (Hv 15580) gebildet worden. Die Datierung der dichteren mittleren Lage der nur 37 mm dicken Kruste ergab ein Radiokarbonalter von 8280 ± 120 a B.P. (Hv 15581).

Die numerische Differenz der beiden Datierungen beträgt demnach 75 Radiokarbonjahre bei einem Standardmutungsintervall von 120 Jahren für etwa die liegende Hälfte der Kalksinterlagen. Extrapoliert ergäben sich somit rein rechnerisch 150 Jahre als gesamte Bildungsdauer, der etwa 125 hell-dunkle Doppellagen gegenüberstehen. Trotz verschiedener potentieller Fehlerquellen zeigt sich damit eine zumindest größenordnungsmäßige Übereinstimmung zwischen den extrapolierten Radiokarbonaten und den Ergebnissen der Auszählung, die ebenso wie die regelmäßige Rhythmik der Absätze eine Jahresschichtung nahelegt. Ähnliche Verhältnisse scheinen auch an anderen Lokalitäten vorzuliegen (Tab. 11.1).

Hier bietet sich ein Ansatzpunkt paläoklimatischer Interpretation. Offenbar spiegeln sich in der Wechsellagerung Schwankungen des oberflächennahen Grundwassers wider, die sich wiederum auf die jahreszeitliche Verteilung der lokalen Niederschläge zurückführen lassen. Da sich die Quarzschluffkörner, insbesondere in der aus geschützter Position stammenden Schluffprobe K 133, meist in den poröseren helleren Lagen befinden,

Tab. 11.1: Travertindatierungen aus dem Unteren Wadi Howar.

A 59 (Pos. 99/1)	K 128 (Pos. 107/-1)	K 133 (Pos. 121/0)
7.825 \pm 100 a B.P.	7.790 \pm 115 a B.P. (Top)	8.280 \pm 120 a B.P. (Mitte)
	7.070 \pm 180 a B.P. (Basis)	8.355 \pm 120 a B.P. (Basis)

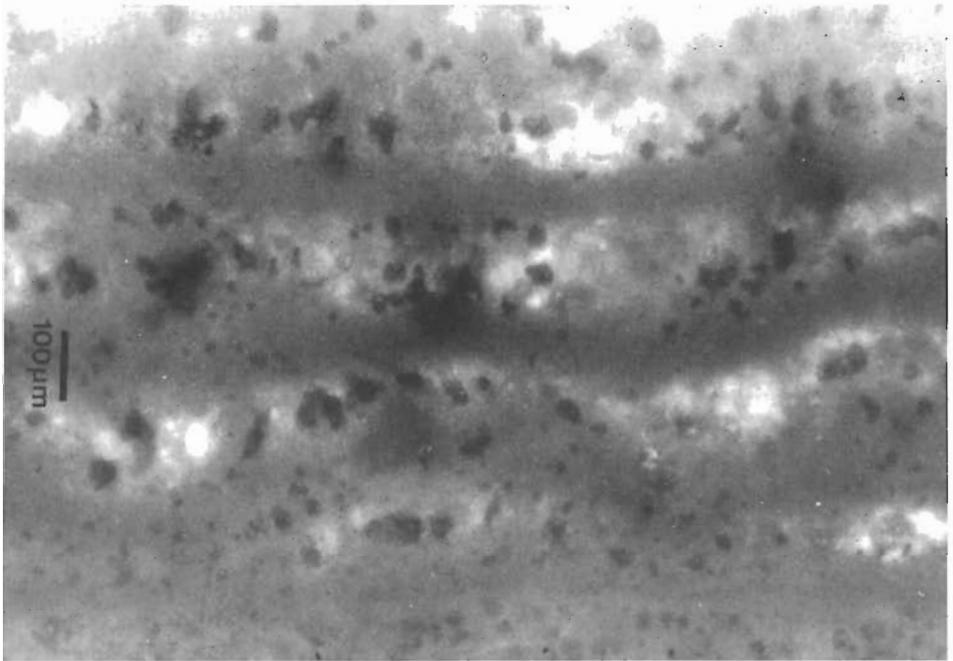


Abb. 11.14: Mikrostratigraphische Dünnschliffaufnahme der Mooskalke K 133.

die dichteren dunkleren Laminae dagegen überwiegend quarzfrei sind, deutet sich eine jahreszeitlich unterschiedliche Schluffakkumulation an (Abb. 11.14). Nachdem sich die mittel- bis grobsiltigen Quarzpartikel sämtlich als äolische Staubabsätze auffassen lassen, ergibt sich ein Hinweis auf das Vorkommen und das zeitliche Auftreten von Staubstürmen. Demgemäß lassen sich Anhaltspunkte für eine Bildung der dichten und dunklen staubarmen Kalklagen im Sommer und Herbst infolge von Grundwasseranhebungen durch heftige Sommerregen ableiten und eine Entstehung der hellen und poröseren staubhaltigen Laminae im regenarmen Winter und Frühjahr, also in den Jahreszeiten, in denen auch heute Staubstürme bevorzugt auftreten.

11.4.2 Sauerstoffisotopenanalysen

Massenspektrometrische Sauerstoffisotopenbestimmungen an Schalen von Süßwassermollusken erwiesen sich als ein vielversprechender methodischer Ansatz für die Paläorekonstruktion. Hierbei werden Messungen entlang einer von der Embryonalwindung (Apex) zur Mündung (Aperture) verlaufenden Schnittlinie durchgeführt. Isotopenanomalien können dabei entweder auf

Temperaturauswirkungen, auf den Niederschlag oder auf eine evaporative Isotopenanreicherung in Wasserkörpern zurückgeführt werden (Abell 1985).

Messungen der $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Isotopenverhältnisse eines mit 8585 \pm 135 a B.P. (Hv 14432) datierten Schneckengehäuses von *Melanoides tuberculata* können zur Klärung des jahreszeitlichen Witterungsverlaufs herangezogen werden, da sich die Lebensdauer dieser Art etwa über ein Jahr erstreckt. Das Spektrum des 100 km vor der Nilmündung geborgenen Individuums zeigt einen ausgeglichenen Lebenszyklus (Abb. 11.15a). Es verbrachte sein gesamtes Leben unter relativ stabilen Bedingungen mit nur geringen Schwankungen in der biologischen Produktivität.

Die Sauerstoffisotopenverhältnisse von $-8,5\%$ gegenüber dem PDB-Standard in dessen frühem Lebensabschnitt „are indicative of extremely cool, wet conditions for this part of Africa, corresponding to the wetter conditions in the present day Atlas Mountains“ (P. Abell, Rhode Island, in litt. 1988). Unter der eingeschränkten Verlässlichkeit der ^{14}C -Datierung von Schneckengehäusen haben demnach um 8500 a B.P. relativ konstante kühle und feuchte Verhältnisse mit nur geringen Schwankungen der Wassertemperatur in diesem Abschnitt des Unteren Wadi Howar geherrscht. Die Folgerung „extrem“ kühler Bedingungen bestätigt auf unabhängige Weise die aus dem Vorkommen der Süßwasseralge *Nitellopsis obtusa* gefolgerten niedrigen Wassertemperaturen von etwa 10°C , welche vermutlich auf Verdunstungskälte zurückgehen (Kröpelin und Soulié-Marsche 1991, Abschn. 11.5.3).

Die Analysedaten eines mit 7750 \pm 110 a B.P. (Hv 14436) datierten *Melanoides-tuberculata*-Gehäuses aus einer Station 233 km vor der Nilmündung lassen sich dahingehend interpretieren, daß das entsprechende Individuum während des Beginns der feuchten Jahreszeit geschlüpft ist und seine Jugend unter relativ kühlen Süßwasserbedingungen verbrachte (Abb. 11.15b). In einem späteren Lebensabschnitt trocknete der Wasserkörper zumindest teilweise aus, wobei die Schnecke verendete (P. Abell, Rhode Island 1988 in litt.). So spiegelt sich in der Isotopenkurve der Feuchtigkeitswechsel im Jahresgang dieser Lokalität wider, der eine jahreszeitliche Austrocknung des Sees einige Monate nach der vermutlich hochsommerlichen Regenzeit etwa im Juli nahelegt. Die Feststellung relativ kühler Bedingungen deutet auf eine offene, bis in den Winter hinein bestehende Wasserstelle.

Von besonderem Interesse sind die Sauerstoffisotopenanalysen an Gehäusen der Süßwasserauster *Etheria elliptica* von der 50 km vor dem Nil gelegenen Lokalität K 109. Die mit 6835 \pm 110 a B.P. und 6655 \pm 105 a B.P. (GX-22370, GX-22371) datierten Exemplare dieser mehrjährigen Art deuten auf schnell fließende Gewässer und fanden sich in unmittelbarer Nähe der weiter oben beschriebenen Kiesablagerungen (Profil K 113, Abb. 11.7).

Das Isotopendiagramm ergibt einen jahreszeitlichen Verlauf mit zwei Regenzeiten (Abb. 11.15c, Rodrigues et al. im Druck). Da angesichts der niederen Breite des Fundorts von knapp 18°N Winterregen höchstwahrscheinlich auszuschließen sind, ergeben sich Indizien auf ein Klima mit zwei Sommerregen zu der relativ späten Zeit um 6700 a B.P. Im aktualistischen

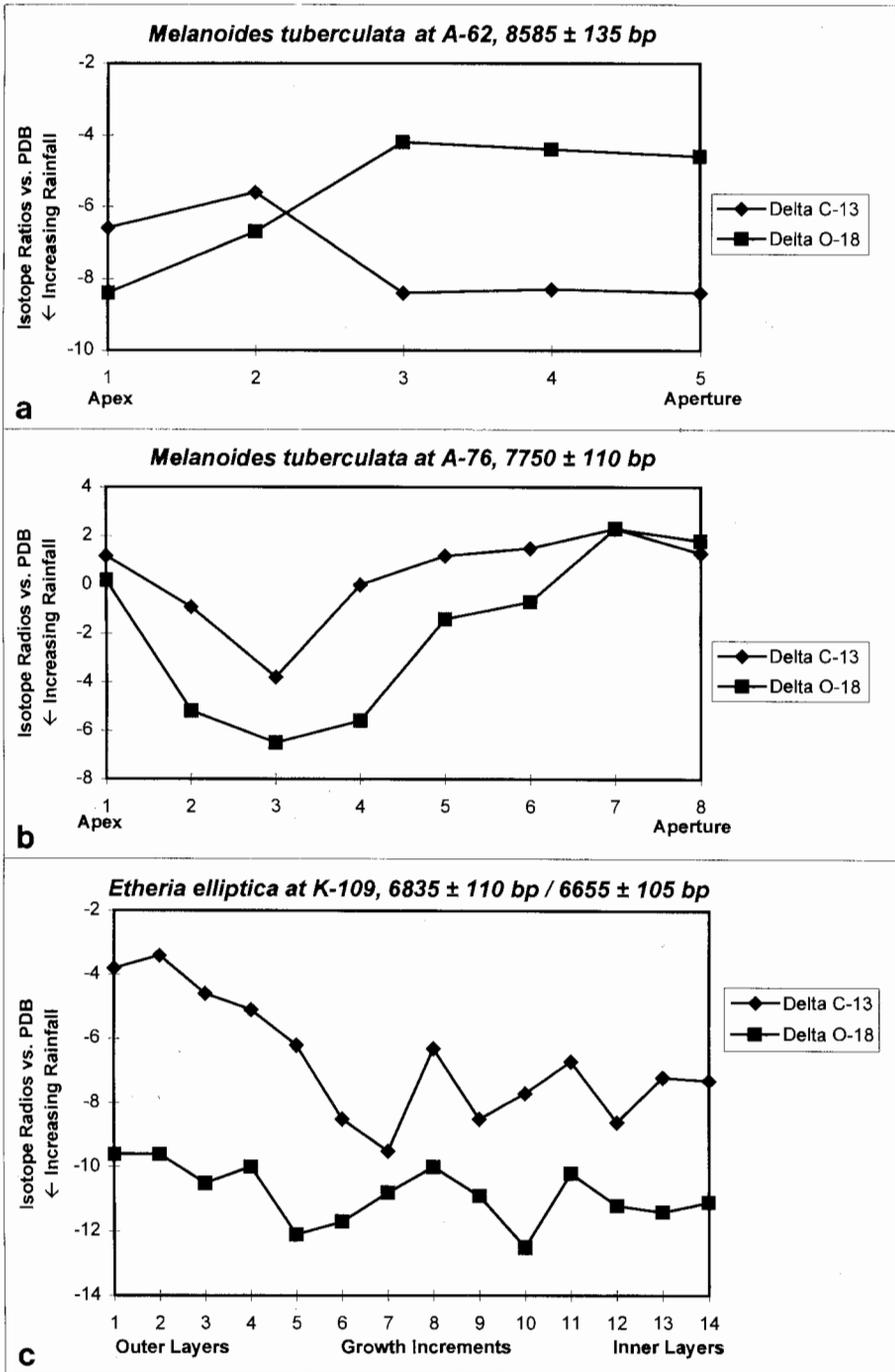


Abb. 11.15: Sauerstoffisotopendiagramme von *Melanoides-tuberculata*- und *Etheria-elliptica*-Gehäusen ex A 62 (a), A 76 (b) und K 109 (c).

Vergleich impliziert dies eine noch stärkere Verlagerung der innertropischen Konvergenzzone (ITCZ) und damit des Monsunklimas nach Norden als bisher angenommen, da heute die tropische Zone mit zwei Regenzeiten südlich des Unteren Wadi Howar nur etwa bis 5° N reicht.

Zusammenfassend deuten die bisherigen Sauerstoffisotopenanalysen für die im mittleren UWH gelegenen Lokalitäten um 8500 a B.P. auf relativ konstante, kühle und feuchte Verhältnisse und um 7700 a B.P. auf eine gelegentliche oder jahreszeitliche Austrocknung der Seen, während sich im östlichen UWH noch für die relativ späte Zeit um 6700 a B.P. überraschende Hinweise auf einen Jahresgang mit zwei, vermutlich tropischen Regenzeiten ergeben.

11.5 Palökologische Ausdeutung der Faunen- und Florenreste

Für die palökologische Umweltrekonstruktion sind Faunen- und Florenreste eine unverzichtbare Ergänzung der sedimentologischen und stratigraphischen Befunde .

Die halbsystematische Tabelle 11.2 gibt einen Überblick über die im Bereich des Unteren Wadi Howar nachgewiesenen Säuger, Reptilien, Amphibien, Fische, domestizierten Tiere, Mollusken, Arthropoden sowie Charophyten. Der palökologische Aussagewert der aufgeführten Arten wird an anderer Stelle eingehend diskutiert (Kröpelin 1993a, Van Neer und Uerpmann 1989). Beispiele direkt und indirekt datierter Knochen, so eines Elefantenunterkiefers (5430 ± 180 a B.P., Position 50) und eines Giraffenschädels (3825 ± 115 a B.P., Pos. 100) bzw. eines nach den umgebenden Seekarbonaten etwa 5640 ± 70 alten Horns des Hausrinds *Bos taurus* (Pos. 233) und mittelholozäner *Aspatharia*-Flußmuscheln (Pos. 452) sind in Abbildung 11.16 wiedergegeben.

11.5.1 Aquatische Gastropoden

In diesem Rahmen kann nur kurz auf die ökologischen Ansprüche der Wasserschnecken eingegangen werden. Die meisten der in Tabelle 11.2 aufgeführten Gastropoden kommen heute im Nil vor. Während *Melanoides tuberculata*, *Bulinus truncatus* und *B. forskali* auch tage- bis wochenlange Trockenzeiten überleben können, kommen Arten wie *Valvata nilotica*, *Afrogyrus coretus*, *Gyraulus costulatus*, *Segmentorbis angustus*, *Biomphalaria Pfeifferi* und *Lymnaea natalensis* fast ausschließlich in permanenten Gewässern vor und überleben eine kurzzeitige Austrocknung höchstens im feuchten Schlamm.

Tab. 11.2: Halbsystematische Übersicht der im Unteren Wadi Howar nachgewiesenen Faunen- und Florenreste.

SÄUGETIERE, MAMMALIA ^(1, 2, 3)	VÖGEL, AVES
Paarhufer, Artiodactyla	Eigentliche Vögel, Ornithurae
Schweine, Suidae	Strauße, Struthioniformes
<i>Phacochoerus aethiopicus</i>	<i>Struthio camelus</i>
Flußpferde, Hippopotamidae	DOMESTIZIERTE TIERE ⁽¹⁾
<i>Hippopotamus amphibius</i>	<i>Bos primigenius</i> f. taurus
Giraffen, Giraffidae	<i>Canis lupus</i> f. familiaris
<i>Giraffa camelopardalis</i>	<i>Capra aegragus</i> f. hircus
Hornträger, Bovidae	<i>Equus africanus</i> f. asinus
Waldböcke, Tragelaphinae	<i>Ovis ammon</i> f. aries
<i>Tragelaphus</i> sp.	KNOCHENFISCHE, OSTEICHTHYES ⁽³⁾
Pferdeböcke, Hippotraginae	<i>Tilapia galilea</i>
<i>Addax nasomaculatus</i>	<i>Tilapia zillii</i>
<i>Hippotragus equinus</i>	<i>Tilapia</i> sp.
Kuhantilopen, Alcelaphinae	<i>Alestes</i> sp.
<i>Alcephalus buselaphus</i>	<i>Synodontis</i> sp.
<i>Alcelaphus</i> indet.	Clariidae
Gazellen, Gazellinae	WEICHTIERE, MOLLUSCA
<i>Gazella dorcas</i>	Schnecken, Gastropoda
<i>Gazella</i> cf. <i>rufifrons</i>	Muscheln; Lammellibranchia,
Echtrinder, Bovinae	Pelecypoda, Bivalvia
<i>Syncerus caffer</i>	Aquatische Gastropoden ⁽⁴⁾
oder <i>Pelorovis antiquus</i>	Mollusca prosobranchia:
Bovidae indet.	<i>Pila wernei</i>
Unpaarhufer, Perissodactyla	<i>Pila ovata</i>
Einhufer, Equidae	<i>Lanistes carinatus</i>
<i>Equus africanus</i>	<i>Valvata nilotica</i>
bzw. <i>Asinus africanus</i>	<i>Gabbiella senaariensis</i>
<i>Equus burchelli</i>	<i>Melanoides tuberculata</i>
<i>Hippotigris quagga</i>	<i>Cleopatra bulimoides</i>
Nashörner, Rhinocerotidae	Mollusca pulmonata:
<i>Diceros bicornis</i>	<i>Lymnaea natalensis</i>
Rüsseltiere, Proboscidea	<i>Afrogyrus coretus</i>
Elefanten, Elephantidae	<i>Gyraulus costulatus</i>
<i>Loxodonta africana</i>	<i>Segmentorbis angustus</i>
Nagetiere, Rodentia	<i>Biomphalaria pfeifferi</i>
<i>Arvicanthis niloticus</i>	<i>Bulinus truncatus</i>
Raubtiere, Carnivora	<i>Bulinus forskali</i>
Schleichkatzen, Viverridae	Terrestrische Gastropoden ^(4, 5)
Mungos, Herpestinae	<i>Limicolaria cailliaudi</i>
<i>Ichneumon albicauda</i>	<i>Limicolaria kambeul chudeau</i>
KRIECHTIERE, REPTILIA ^(1, 3)	<i>Succinea</i> sp.
Schildkröten; Chelonia, Testudinata	<i>Vertigo antivertigo</i>
<i>Geochelone pardalis</i>	<i>Zonitoides nitidus</i>
Krokodilartige, Suchia	Bivalvia ⁽⁴⁾
<i>Crocodylus niloticus</i>	<i>Aspatharia arcuta</i>
LURCHE, AMPHIBIA ⁽¹⁾	<i>Aspatharia rubens</i>
<i>Bufo regularis</i>	<i>Caelatura aegyptiaca</i>

Tab. 11.2 (Fortsetzung).

<i>Corbicula fluminalis</i>	<i>Plesiocypris</i>
<i>Etheria elliptica</i>	<i>Potamocypris</i>
<i>Mutela nilotica</i>	<i>Pseudocypris</i>
GLIEDERFÜSSER, ARTHROPODA	<i>Sclerocypris</i>
Muschelkrebse, Ostracoda	<i>Strandesia</i>
Ostrakodentaxa ⁽⁶⁾	Charophyten ⁽⁷⁾
<i>Acocypris</i>	Klasse Charales
<i>Candona</i>	Familie Characeae L. Cl. Richard
<i>Cypridopsis</i>	Gattung <i>Nitellopsis</i> Hy
<i>Cyprinotus</i>	Art <i>Nitellopsis obtusa</i>
<i>Cypris</i>	(Desv. in Lois.) J. Groves
<i>Darwinula</i>	<i>Chara pappii</i> Soulié-Märsche 1979
<i>Eucypris</i>	cf. <i>Lamprothamnium</i> sp.
<i>Hemicypris</i>	cf. <i>Chara globularis</i> var. <i>aspera</i>
<i>Heterocypris</i>	<i>Lamprothamnium</i> sp.
<i>Ilyocypris</i>	<i>Chara</i> sp.
<i>Limnocythere</i>	<i>Chara</i> cf. <i>zeylanica</i>
<i>Metacypris</i>	<i>Lychnothamnus</i> sp.
<i>Physiocypridopsis</i>	

(1) det. J. Boessneck, A. von den Driesch, J. Peters (München)

(2) det. H.-P. Uerpmann (Tübingen)

(3) det. W. van Neer (Tervuren)

(4) det. H. Schütt (Düsseldorf)

(5) det. A. Mead (Tuscon)

(6) det. J. Günther, E. Keyser (Hamburg)

(7) det. I. Soulié-Märsche (Montpellier)

In der Molluskenfauna des Wadi Howar sind im Vergleich mit der heutigen ägyptischen Nilfauna (Schütt 1986) nur wenige Abweichungen festzustellen. Schütt (in litt. 1987) faßt deshalb die malakologischen Befunde mit folgenden Worten zusammen: „Die im Unteren Wadi Howar gesammelte [Mollusken-] Fauna ist die typische fluviatile Nilfauna, wie sie im wesentlichen auch heute noch im mittleren und unteren Nil lebt. Sie zeigt, daß dieser Teil des Wadi Howar ein Nil-Arm gewesen ist.“

11.5.2 Bivalven

Neben den aquatischen Großsäugern, Reptilien, Amphibien, Fischen und Gastropoden, die auch in stehenden Gewässern vorkommen, sind in diesem Zusammenhang vor allem Flußmuscheln von Interesse, deren Vorkommen eher auf fließende Gewässer hinweist. Hierzu zählen an mehreren Stellen im UWH nachgewiesene Arten wie die bis 15 cm große Flußmuschel *Aspatharia rubens* (Abb. 11.16d), die etwas kleinere *Aspatharia arcuata* sowie

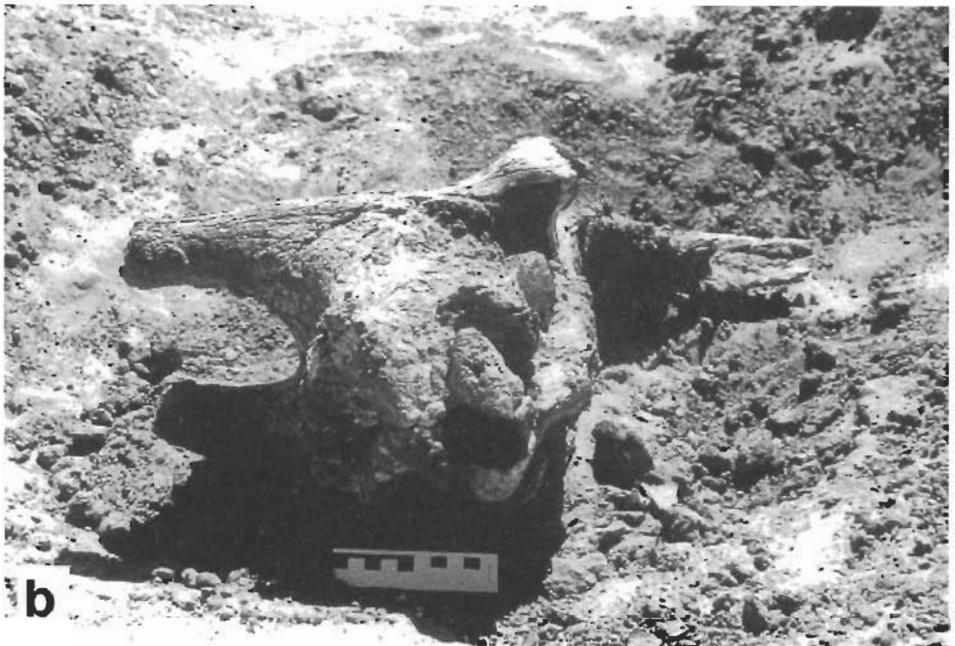
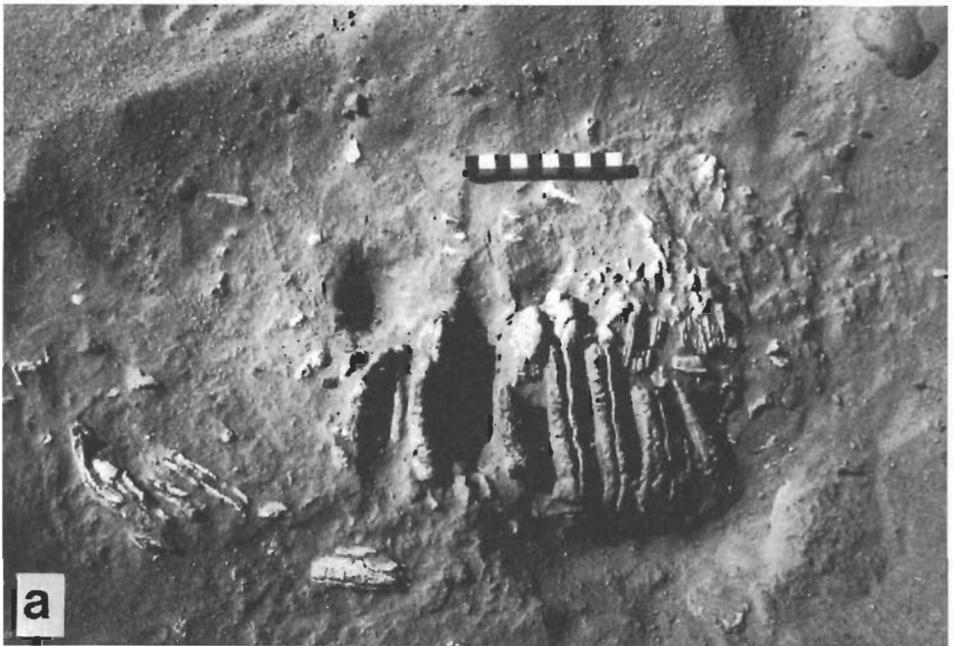


Abb. 11.16: Beispiele des Fossilspektrums (Maßstäbe in cm-Teilung): a) Elefantunterkiefer, 50 km vor der Mündung in den Nil (5430 ± 180 a B.P.), b) Giraffenschädel, 100 km vor der Mündung in den Nil (3825 ± 115 a B.P.).

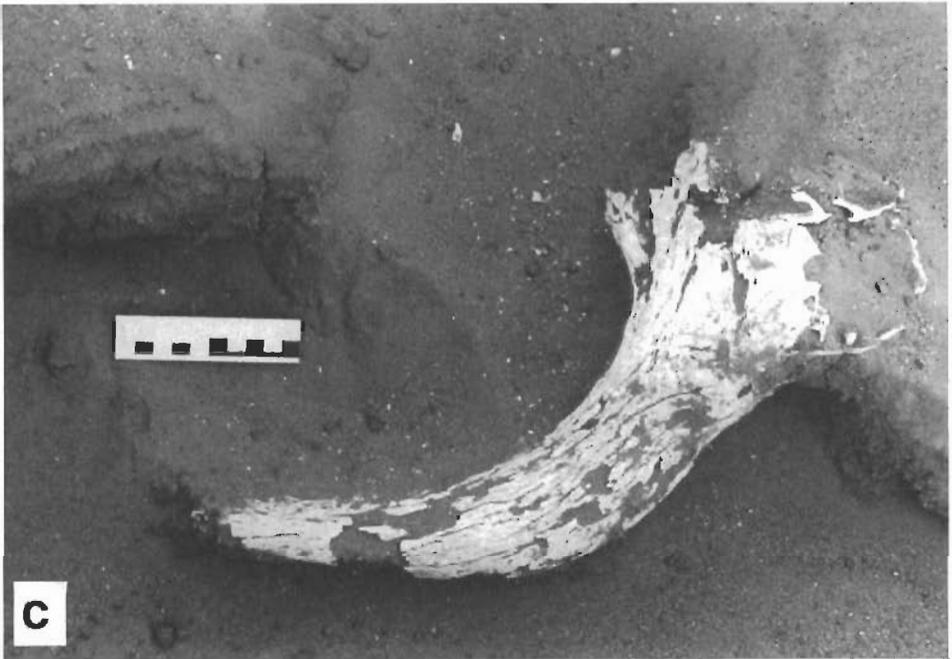


Abb. 11.16: c) Horn des Hausrinds *Bos taurus*, 233 km vor der Mündung in den Nil (ca. 5640 \pm 70 a B.P.), d) Mittelholozäne Flußmuscheln *Aspatharia rubens*, 452 km vor der Mündung in den Nil.

Mutela nilotica, die größte Nilmuschel, welche tiefes Wasser bevorzugt, *Caelatura aegyptiaca* und *Corbicula fluminalis*, die mit Abstand häufigste Nilmuschel.

Von besonderem Interesse sind die erwähnten Nachweise der Flußauuster *Etheria elliptica*. Die Nilauuster war in den Aufsammlungen der früheren Geländekampagnen nicht vertreten, weshalb Schütt (in litt. 1987) folgerte: „Es ist ganz natürlich, daß in Ihrer Aufsammlung diejenigen Mollusken fehlen, die auf steinigem Untergrund leben, wie [...], *Etheria elliptica*, [...] und teilweise *Mutela nilotica*. Dies zeigt nur, daß dort, wo Sie sammelten, keine kataraktähnlichen Bildungen oder Granit vorkommen“. In der Tat konnten während der folgenden Geländearbeiten entsprechende Funde in derartigem Kontext gemacht werden.

11.5.3 Charophyten

Charophytenreste traten bei der Mikrofossilauflbereitung karbonatischer Seesedimente aus dem Wadi Howar fast durchgängig und in z. T. hohen Konzentrationen auf. Charophyten sind buschige, bis über 1 m hohe, kalkabscheidende Grünalgen mit relativ komplexen Reproduktionsorganen (Oogonien). Als subaquatische Wiesen bewachsen sie hauptsächlich die infralitoralen Zonen von Seen und Tümpeln mit klarem Süßwasser und geringer Wasserbewegung.

Das besondere Interesse der Populationsstudie an *Nitellopsis obtusa* der Station U 502 liegt in der palökologischen Aussagekraft dieser Art, die permanentes, kühles und tiefes Süßwasser anzeigt (Abb. 11.17, Kröpelin und Soulié-Märsche 1989).

Kulturrexperimente über die Salztoleranz von *Nitellopsis obtusa* ergaben eine letale Dosis von 100 mmol NaCl (5,85 ‰) für 80 % der Zellen nach nur 3 Stunden, nach 24 h wurden überhaupt keine überlebenden Zellen mehr festgestellt (Katsuhara und Tazawa 1986). Sowohl Kasaki (1962) als auch Krause (1985) geben Wassertiefen von 5–11 m in ungestörten oligotrophen Gewässern als Lebensraum von *N. obtusa* an. In der Wurzelzone muß eine konstant niedrige Temperatur mit ganzjährigen Wassertemperaturen unter 10°C herrschen.

Das Vorkommen der Charophytenart *Nitellopsis obtusa* ist somit ein verlässliches Indiz tiefer Süßwasserseen im Wadi Howar und stützt bereits für sich allein genommen die Annahme einer ausgeprägten früh- bis mittelholozänen Feuchtphase in der südöstlichen Sahara.

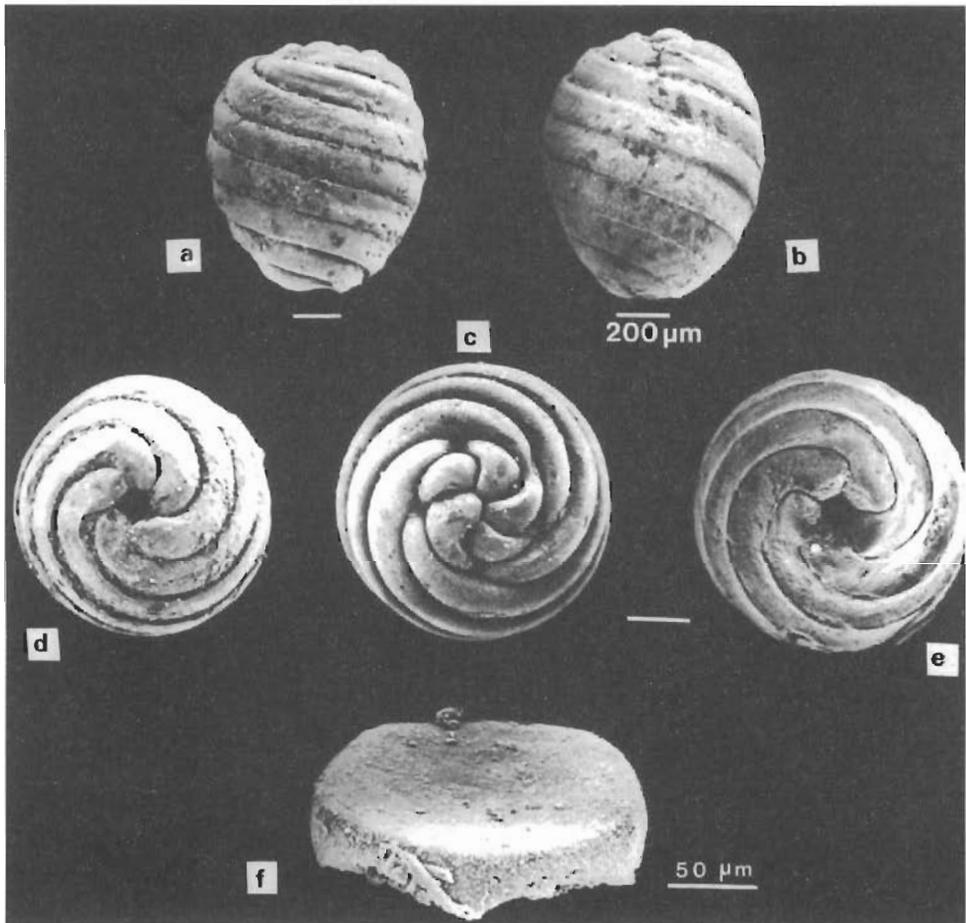


Abb. 11.17: Oogonien von *Nitellopsis obtusa* ex U 502. a, b: Seitenansicht; c: Oberseite; d, e: Unterseite; f: Verschlusskappe.

11.6 Die prähistorische Besiedlung

Wenn auch eine eingehendere Betrachtung der vielfältigen prähistorischen Siedlungsreste im Unteren Wadi Howar einer künftigen archäologischen Aufarbeitung vorbehalten sein muß, sind unter einer paläoklimatischen Fragestellung anthropogene Zeugnisse jeder Art von Interesse, die auf im Vergleich zu heute günstigere Siedlungsbedingungen hinweisen, insbesondere in einem Gebiet, das bis dato in archäologischer Hinsicht nahezu unbearbeitet ist.

Die frühesten Spuren des prähistorischen Menschen im Unteren Wadi Howar stellen Faustkeile und andere Steinwerkzeuge des Acheuléen dar, die einen Aufenthalt von *Homo erectus* im Wadi vor mindestens 200.000 Jah-

ren, wahrscheinlich aber noch deutlich früher, belegen. Für eine Besiedlung des Raums während des im Tschad-Becken zwischen etwa 40.000 und 20.000 a B.P. angesiedelten Aterién sprechen entsprechende Steinartefakte.

Artefakte des Epipaläolithikums und des Neolithikums sind in manchen Talabschnitten weit verbreitet. Von den vielfältigen Siedlungsspuren im Talbereich seien nur die frühneolithische Wavy-Line-Keramik, Reibmuldenfelder in den anstehenden Graniten, die zahllosen Reibschalen und -steine sowie die bereits erwähnten, unbestatteten Skelette in den Seeablagerungen genannt, die möglicherweise auf einen Tod durch Ertrinken hinweisen.

Bemerkenswert sind auch die mit 5350 ± 275 bis 3915 ± 210 a B.P. relativ frühen Nachweise domestizierter Rinder. Hinweise auf Rinderhirten oder Jäger finden sich in Form der Steinplatz-Feuerstellen (Gabriel 1973) oder der sogenannten Fesselsteine (Pachur 1991), die wahrscheinlich jedoch meist der Fallenstellung dienten (Kröpelin 1993a, Morel 1982). Diese feuchtzeitlichen Indikatoren treten an vielen Stellen im Wadi und auf dessen Nordseite auf; nach Süden hin ist jedoch eine auffällige Abnahme beider Phänomene festzustellen. Die bisher unbeschriebenen Gravierungen von Zolat-el-Hammad-Ost zeigen den Übergang von einer von Giraffen und domestizierten Rindern geprägten Siedlungsepoche zu einer durch Mähnschafe und Strauße charakterisierten, offensichtlich trockeneren Periode (Kröpelin 1993a).

Zu den jüngeren Relikten gehören die zahlreichen Grabhügel entlang der Kanäle, die in Analogie zu vergleichbaren Vorkommen im Wadi Shaw (Gabriel und Kröpelin 1983, 1984, Schuck 1988) möglicherweise in das 3. und 2. Jahrtausend v. Chr. fallen. Die südlich des Wadis angetroffenen, für die meroitische Periode typischen Hafire (Regenwassersammelanlagen), sind wahrscheinlich als Niederschlagsanzeiger zu werten. Ringförmige Hüttenreste auf sandigen Terrassen deuten ebenfalls auf eine spärliche Besiedlung des Wadis zu dieser Zeit.

11.6.1 Siedeldünen

Das eindrucksvollste siedlungsgeschichtliche Phänomen im Unteren Wadi Howar sind jedoch die sogenannten Siedeldünen (Abb. 11.18a). Es handelt sich dabei um Dünen, die allein durch eine anthropogene Deckschicht konserviert und stabilisiert und damit dem starken Sandtransport entzogen wurden, der heute durch die wandernden Barchane im Umfeld dokumentiert wird. Verbreitung wie Materialfülle dieser Dünenhabitate waren für den weit abseits des Nil gelegenen Raum ebenso unerwartet wie in dieser Ausbildung vermutlich weltweit beispiellos. Die Siedeldünen können deshalb als vielleicht wichtigstes kulturgeschichtliches Erbe der südöstlichen Sahara aufgefaßt werden (Gabriel und Kröpelin 1986).

Die bis einen Meter mächtige Deckschicht besteht aus einer von Steinartefakten, Keramikfragmenten, Knochen- und Vegetationsresten durchsetz-



Abb. 11.18: a) Siedeldünenkette nordwestlich von Abu Tabari, 298 km vor der Mündung in den Nil, b) Keramikkonzentrationen und Grabbeigaben.

ten sandigen Bodenbildung mit erhöhtem Feinanteil. Der durch die Pedogenese, Pflanzenreste, Asche und Kulturabfälle entstandene organische Kohlenstoff der Kulturschicht zeigt sich an einer mattbraunen Färbung, die sich deutlich von der hellorange-farbenen Tönung der liegenden Dünen-sande abhebt.

Das auf der Dünenoberfläche befindliche anthropogene Material ließe sich in Stückzahlen nur in Millionen beziffern. Es besteht hauptsächlich aus dem für Siedlungszwecke oder zur Steinwerkzeugherstellung herangeschafften Rohmaterial, verschiedenen Steinartefakten, darunter Mikrolithen, Reibsteine, Steinkugeln und Steinbeile, sowie zahllosen Keramikscherben verschiedener Stärke, Magerung und Verzierung (Abb. 11.18b).

Auf den etwa 300 km vom Nil entfernten Siedeldünenketten nordwestlich von Abu Tabari wurden verschiedene Steinsetzungen beobachtet, darunter auch Anhäufungen vollständiger und zerbrochener Reibschalen und Reibplatten. Etwa 30 zusammenliegende, metergroße Mulden mit zerfallenen Knochen dürften auf von Wildtieren ausgegrabene Gräberfelder zurückgehen. Bei einem Teil der Keramik (u. a. mit Wavy-Line-, Laqiya- oder Leiterbandmustern, Kuper 1986) und Straußenei-perlenketten handelt es sich vermutlich um Grabbeigaben. Andere Knochenkonzentrationen, darunter häufig Bovidenkiefer, dürften auf Schlachtplätze oder Speisereste zurückgehen, welche sich auch in hohen Phosphatwerten widerspiegeln.



Auf mehreren Siedeldünen wurden vom Wind freigelegte menschliche Skelette vorgefunden. Dies belegt eine gewisse äolische Abtragung mit deflativer Grobmaterialanreicherung an exponierten Stellen, welche jedoch den Betrag von wenigen Dezimetern nicht überschritten haben dürfte.

11.6.1.1 Paläoklimatisches Potential der Parabeldünen

Von besonderem Interesse für die Klimarekonstruktion ist die Tatsache, daß in vielen Fällen die ursprüngliche Form der Dünen und damit der Dünentyp zum Zeitpunkt der ersten Besiedlung erhalten ist. Es handelt sich dabei um Parabeldünen, deren auf der Luvseite der Passatrichtung offene Parabelform sich im Gelände wie im Satellitenbild deutlich von der leeseitig geöffneten Sichelform der mobilen Barchane abhebt (Abb. 11.19a). Die Abbildungen

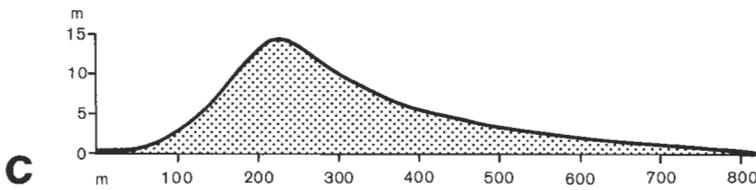
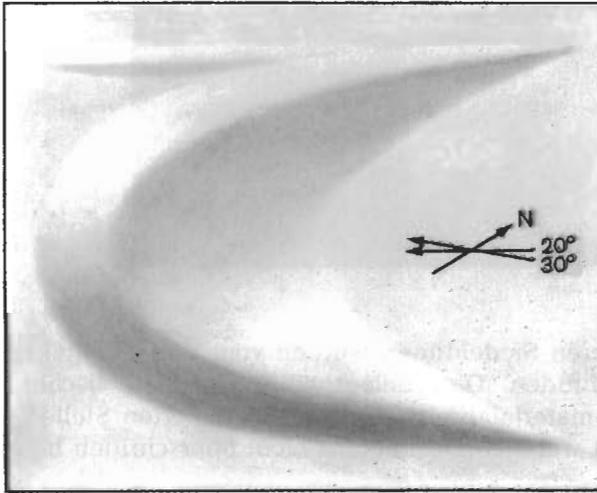
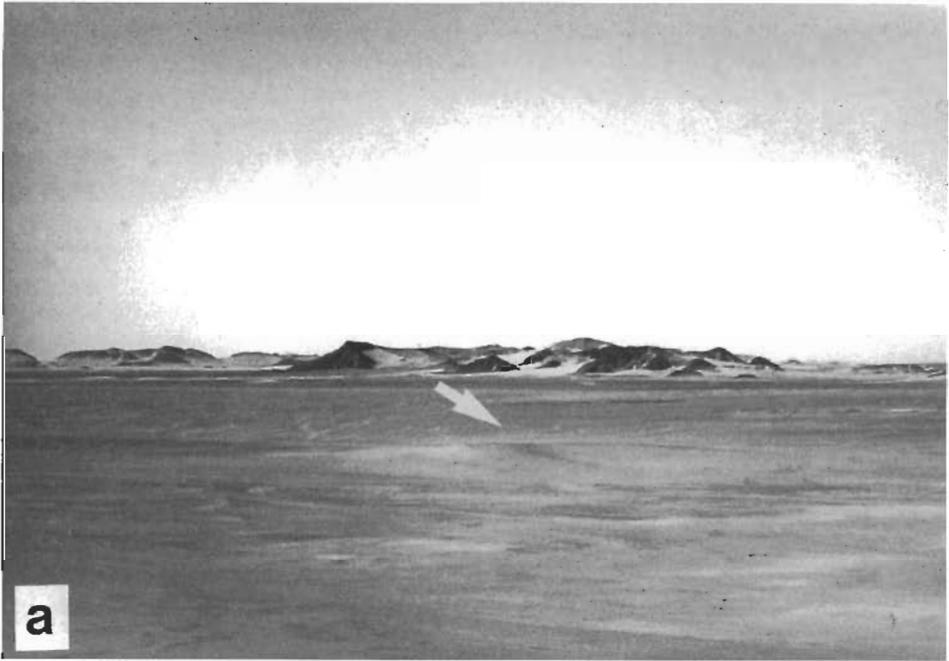


Abb. 11.19: Parabeldüne 84/24 von Conical Hill: a) Ansicht, b) Grundriß, c) Aufriß.

11.19b und 11.19c geben den Grund- und Aufriß der Parabeldüne 84/24 wieder. Bekanntlich sind Parabeldünen charakteristisch für semiaride Klimaverhältnisse mit flächenhafter Kraut- oder Grasbedeckung und erhöhter Bodenfeuchte. Bei einer Änderung der Parameter erfolgt eine schnelle Umwandlung der Parabeldünen in die für den extrem ariden Raum charakteristischen Barchane, die am Wadi Howar allein durch die Artefaktauflage verhindert wurde. Heute treten in der Sahara außerhalb von Oasen keine Parabeldünen mehr auf (Fryberger und Goudie 1981).

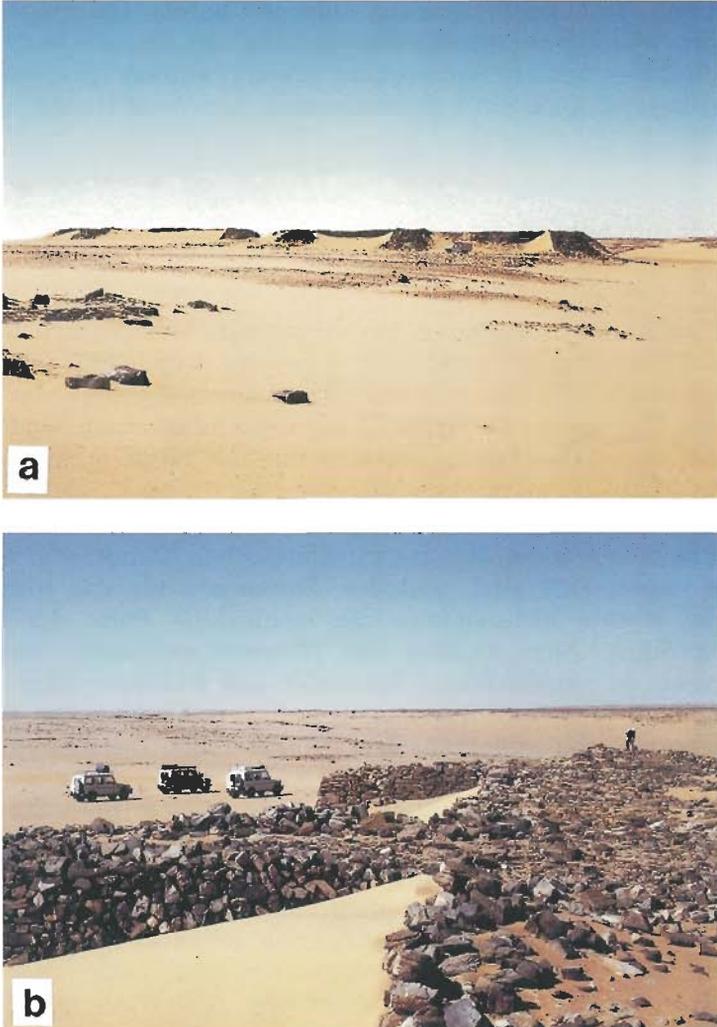


Abb. 11.20: Festungsanlage, 108 km vor der Mündung in den Nil: a) Ansicht, b) Südliche Mauer mit Bastionen.

Da eine schlagartige menschliche Besiedlung unmittelbar nach dem Einsetzen feuchter Bedingungen kaum anzunehmen ist, stellt der durch erste ¹⁴C-Daten und archäologisch-typologische Folgerungen aus den Keramikstilen festgelegte chronologische Rahmen der Dünenbesiedlung, die sich vom 8000–9000 Jahre alten Early Khartoum bis zum etwa 4000 Jahre alten Leiterband-Komplex erstreckte (Richter 1989), lediglich einen Minimalwert der Dauer der holozänen Feuchtperiode am Unteren Wadi Howar dar.

Unter den Flanken der Siedeldünen finden sich graue, in feuchtem Zustand schwärzliche subhydrische Sedimente, die als typische Überschwemmungsböden zu deuten sind. Diese tonig-schluffigen Sandmudden bezeugen ein vermutlich periodisch sumpfiges Milieu, dem sich Mensch und Tier durch die Dünenbesiedlung entzogen haben. Die Frage nach der Herkunft des Überschwemmungswassers kann mit einem Übertreten vom Jebel Rahib ausgehender Seitenwadis erklärt werden, insbesondere im Abu-Tabari-Bereich auch mit Rückstauwasser vom Wadi Howar.

11.6.2 Festungsanlage

Die erst im Januar 1984 entdeckte Festungsanlage befindet sich 108 km vor der Mündung des Unteren Wadi Howar in den Nil (Kuper 1988, Abb. 11.20a). Offenbar wurde das Bauwerk an einer Gunstposition angelegt, was durch die benachbarten Travertine, die Lage direkt gegenüber einer Niederschlagswasser sammelnden Basaltdecke sowie in der Tiefenlinie erhaltene Vegetation gestützt wird.

Vorläufig bleibt ungewiß, ob die große Festungsanlage aus der meroitischen Epoche oder aus der Zeit des frühchristlichen Königreichs von Makuria stammt, wenn sich auch mehrere Argumente für das frühere Alter ergeben. So könnte insbesondere die rechteckige Form der Bastionen (Mauervorsprünge, Abb. 11.20b) ein Hinweis auf einen meroitischen Ursprung sein, da vergleichbare Bauwerke aus frühchristlicher Zeit eher runde Bastionen, kleinere Dimensionen und verschiedenartige Grundrisse aufweisen (persönliche Mitteilung F.W. Hinkel 1989). Die meroitische Epoche dauerte von etwa 400 v. Chr. bis 350 n.Chr.

Ungeachtet dieser Frage belegt das monumentale Bauwerk die noch späte strategische Bedeutung des Unteren Wadi Howar als Kontrollpunkt einer NO-SW-Verbindung zwischen dem nubischen Nil und Nordkordofan oder einer O-W-Passage zwischen dem Nil und dem Tschad-Gebiet, wie bereits das Mittlere Wadi Howar noch ohne Kenntnis des unteren Laufs von King (1916) als „possible connection between Lake Chad and the Nile“ und von Rhotert (1952) als bedeutende „Ost-West- oder West-Ost-Wanderstraße“ betrachtet wurde.

11.7 Kritische Analyse der Radiokarbon-Datierungen

Isotopenphysikalischen Datierungen kommt seit fast drei Jahrzehnten eine fundamentale Bedeutung für die Klimageschichte der Sahara zu.

11.7.1 Datierungsmaterialien und Fehlerpotentiale

Prinzipiell ergeben große unkontaminierte Holzkohlestückchen die zuverlässigsten Ergebnisse. Sieht man von archäologischen Siedlungsplätzen und ehemaligen Feuerstellen wie den Steinplätzen (Gabriel 1986) ab, dann stellen Holzkohlefunde in fluvialen Ablagerungsräumen jedoch Ausnahmeerscheinungen dar. Deshalb mußte im Wadi Howar zumeist auf karbonatische Sedimente wie Seekreiden, Travertine und Kalkrhizome oder auf Faunenreste wie Knochen oder Molluskengehäuse zurückgegriffen werden, welche systematischen Fehlern von bis zu 500–1000 Jahren unterliegen können.

Diese Einschränkungen müssen bei allen Bemühungen um eine hochauflösende Chronologie berücksichtigt werden. Sowohl innerhalb und außerhalb des Wadi-Howar-Bereichs sind zusätzliche, durchgehend und mit unterschiedlichen Materialien datierte Stratigraphien erforderlich, wenn möglich in Verzahnung mit den meist gut datierten archäologischen Fundzusammenhängen. Bis dahin muß eine zeitliche Auflösung im Jahrhundertmaßstab oder besser noch illusorisch erscheinen.

11.7.2 Gesamtsicht

Die meisten ^{14}C -Alter aus dem Wadi Howar stammen von karbonatischen Limniten, welche durchschnittlich etwa 700 Jahre zu junge Modellalter liefern. Die vorliegenden Daten erstrecken sich hauptsächlich über die ersten beiden Drittel des Holozäns (Tab. 11.3). Die Extremdaten stammen aus dem Mittleren Wadi Howar, wo in Profil N 65 (Pos. 548) mit 21.050 ± 2135 a B.P. und 3195 ± 135 a B.P. (Hv 16262, Hv 16261) zugleich das älteste und das jüngste Alter auftreten. Für die holozäne lakustrine Sedimentation im Unteren Wadi Howar verbleibt der Zeitraum zwischen 9430 ± 85 a B.P. und 5115 ± 160 a B.P. (Hv 12380 bzw. Hv 14430).

Die aus dem Bereich des Unteren Wadi Howar verfügbaren ^{14}C -Daten lassen in räumlicher Sicht keine lokalen Gunstgebiete hervortreten. Unter Berücksichtigung der Mutungsintervalle (im Mittel 138 Jahre) streuen die Daten über das gesamte frühe und mittlere Holozän (Abb. 11.21). Die relativ kurzen Datenlücken bzw. -häufungen sollten angesichts der verschiedenen

Tab. 11.3: ^{14}C -Daten lakustriner Karbonate aus dem Bereich des Unteren Wadi Howar (nach dem Alter geordnet).

Alter a B.P.	Position	Lokalität	Stratigraphische Lage (cm unter Top)
21.050 \pm 2135	548/0	N 65-2	145-155
9.430 \pm 85	326/2	H 53	150-160
9.335 \pm 70	402/-58	N 22-12	374-379
9.195 \pm 85	479/-39	U 532	80-90 (Yardang)
9.125 \pm 205	233/3	N 105-12	111-120
7.985 \pm 90	479/-39	U 531	40-50 (Yardang)
7.790 \pm 95	79/2	A 14-14	70-80
7.400 \pm 140	360/-57	N 15	0-5
7.375 \pm 90	402/-58	N 22-76	140-145 (Yardang)
7.260 \pm 70	385/9	A 85-13	0-10
6.630 \pm 65	385/9	A 85-2	200-210
6.280 \pm 70	402/-58	N 22-78	5-10 (Yardang)
6.180 \pm 85	233/3	N 105-2	0-6
5.640 \pm 70	235/4	A 75	0-10
5.115 \pm 160	38/-3	A 28-3	Oberfläche
3.195 \pm 135	548/0	N 65-1	5-10

Datierungsmaterialien und der genannten Fehlerpotentiale nicht überinterpretiert werden, da relative Verschiebungen der Radiokarbonalter zum Älteren oder Jüngeren im Maßstab von Jahrhunderten in Betracht gezogen werden müssen.

Trotz dieser Einschränkungen liegen Synchronismen in der Wasserführung von Seen und dem Auftreten von Fossilien nahe. Aus den Daten wird auch ersichtlich, daß ein Nebeneinander lakustriner Sedimentation und fluvialer Ereignisse im Unteren Wadi Howar stattgefunden haben muß und sich eine Unterteilung in eine „fluviale“ und eine „limnische“ Phase nicht vornehmen läßt. Eine Korrelation einzelner sedimentärer Ereignisse limnischer oder fluvialer Art, die schon in kleinräumigen, abgeschlossenen Systemen oft diskussionswürdig ist, war in einem offenen System wie dem Unteren Wadi Howar und über Distanzen von Hunderten von Kilometern von vorneherein nicht zu erwarten.

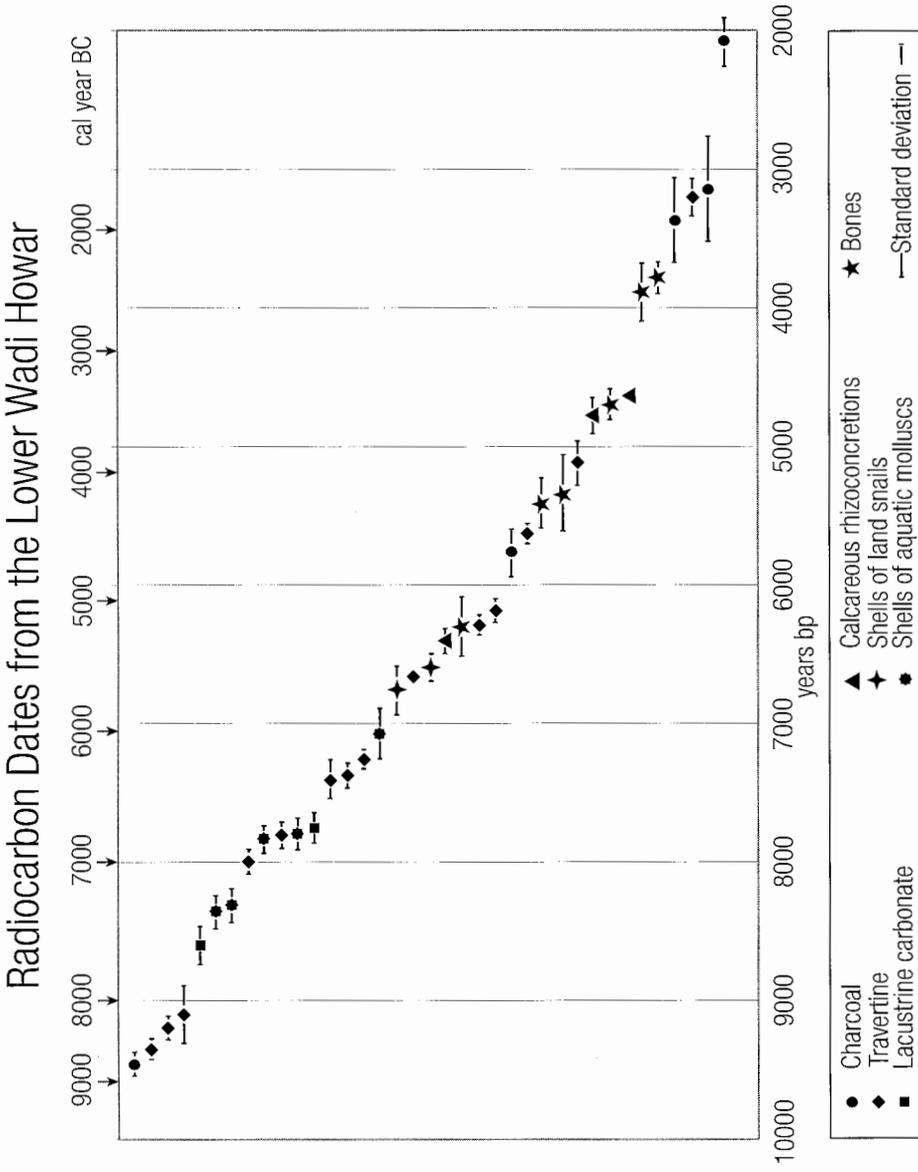


Abb. 11.21: ¹⁴C-Daten aus dem Bereich des Unteren Wadi Howar.

11.8 Modalitäten des holozänen Abflusses

11.8.1 Räumlich-zeitliche Charakterisierung

Die geomorphologischen und quartärgeologischen Feldbefunde zeigen, daß das Untere Wadi Howar im frühen und mittleren Holozän aus flachen ineinander übergehenden Flußseen, Durchfluß- und Hochwasserpflanzen bestanden hat, die streckenweise über langsam oder auch schneller fließende Gewässer verbunden waren. Es resultierte eine Aneinanderreihung von fluvial, limnisch und sumpfig geprägten Abschnitten.

Zeitweise wurden zumindest Teile der Region zwischen Jebel Rahib und Nil entwässert und damit der endorheische Zustand eines etwa 50.000 km² großen Gebiets aufgehoben. Hinweise auf eine durchgehende Wasserbewegung vom zwischen Ennedi und Jebel Marra gelegenen Quellgebiet bis zum Nil während des Holozäns ergeben sich nicht. Ebenso wenig dürfte das Wadi Magrur in das Untere Wadi Howar eingespeist haben. Dagegen kann eine pleistozäne Nilanbindung des Nord-Darfur, insbesondere während den eemzeitlichen Feuchtzeiten (Isotopenstadium 5) aus morphologischen Gründen kaum zweifelhaft sein.

Für die holozäne Klimageschichte impliziert dies eine Erhöhung der paläoklimatischen Bedeutung des Unteren Wadi Howar, da sämtliche fließende und stehende Gewässer ausschließlich auf lokale Niederschläge im unmittelbaren Einzugsgebiet östlich des Jebel Rahib zurückgeführt werden können.

Fluvialer Abfluß größeren Ausmaßes dürfte nur nach heftigen Regengüssen (Rainstorms im engl. Schrifttum) erfolgt sein, die saisonal bis episodisch vermutlich in den Sommermonaten aufgetreten sind. Da derartige Starkregen in den meisten Fällen lediglich lokalen Ausmaßes sind, wobei nur selten Flächen über 70 km² betroffen sind (Graf 1988), kann kaum ein fluvialer Transport über die gesamte Länge des Unteren Wadi Howar, d. h. über mehr als 400 km, zu einem gleichen Zeitpunkt angenommen werden.

Dies mag bestenfalls als Ausnahme während säkularer oder sogar millenärer Ereignisse wie den außergewöhnlichen Starkregen im August 1988 vorgekommen sein, die im mittleren Sudan in wenigen Stunden eine 300 km x 500 km große Fläche mit bis zu 230 mm Niederschlag bedeckten (Hulme und Tosdevin 1989). Der feuchtzeitliche Transport erfolgte demnach normalerweise in Schüben, so daß in kaum einem Fall die Umlagerung eines Partikels vom Jebel Rahib bis in den Nil in einem Vorgang erfolgt sein dürfte. Die Partikel wurden vielmehr immer nur streckenweise transportiert und dann „zwischengeparkt“, um nach einem weiteren, die jeweilige Position bedeckenden lokalen Niederschlagsereignis wieder aufgenommen und weitertransportiert zu werden. Dazwischen können beträchtliche Zeiträume gelegen sein.

Das früh- und mittelholozäne Untere Wadi Howar ist zusammenfassend als mit zeitlichen und räumlichen Unterbrechungen stoßweise fließender, ephemerer Flußlauf zu charakterisieren.

11.8.2 Die Faunenverbreitung

Das Untere Wadi Howar hat während der Feuchtphasen als Hauptachse jeglicher Faunenverbreitung fungiert. Dies gilt ohne jede Einschränkung für die Ausbreitung von Großsäugern wie Elefanten, Nashörnern oder Giraffen, die größere Entfernungen zwischen Wasserstellen zurücklegen können. Von allen in nilfernen Positionen nachgewiesenen Arten sind die Fische, Bivalven und Austern am anspruchsvollsten, was den Ausbreitungsmodus betrifft.

Eine generelle Beschränkung der Ausbreitung von Fischen auf offene Wasserwege (Kowalski et al. 1989, Van Neer 1989) muß dennoch angezweifelt werden, da für manche Positionen wie dem südlich des UWH gelegenen Gureinat-Paläosee oder auch das südägyptische Bir Tarfawi eine ununterbrochene Anbindung an den Nil durch offene Wasserwege schon aus topographischen Gründen ausgeschlossen werden kann (Kröpelin und Pachur 1991).

Für das Wadi Howar selbst und sein Umland müssen jedoch andere Verbreitungsmechanismen, etwa durch Flußpferde, Krokodile oder den nomadisierenden Menschen, nicht herangezogen werden. So können z. B. die Fischvorkommen im Paläoseekomplex U 502 westlich des Jebel Rahib über eine Kette von Wadiabschnitten, Sümpfe, Altwasser- und Grundwasserseen sowie flächenhafte Wasserlachen infolge torrentieller Starkniederschläge oder Quellaustritte, im untersten Teil auch durch Rückstau von Nilwasser, erklärt werden, welche eine durchgehende Verbindung vom Nil bis ins Mittlere Wadi Howar gewährleistete.

11.9 Früh- bis spätholozäne Umweltverhältnisse und paläoklimatische Interpretation

11.9.1 Ausmaß des Klimawechsels

Nur wenige Regionen der Erde waren in der jüngeren Vergangenheit derart drastischen Klima- und Umweltänderungen unterworfen wie das Untere Wadi Howar. Abbildung 11.22 veranschaulicht im aktualistischen Vergleich das Ausmaß des Landschaftswandels unter Annahme der im folgenden erläuterten Ableitungen zur Verschiebung der Niederschlagszonen.

Diese hydrologischen und ökologischen Änderungen zeigen sich auch außerhalb des Talbereichs des Unteren Wadi Howar (Haynes et al. 1989, Haynes und Mead 1987, Hoelzmann 1993, Kuper 1989, Neumann 1989, Pachur und Hoelzmann 1991, Pachur et al. 1987, 1990, Ritchie et al. 1985), das nachweislich keinen in regenreicheren südlichen Regionen gespeisten Fremdlingsfluß, sondern ein ausschließlich durch lokale Niederschläge aufrecht erhaltenes Abflußsystem darstellte (Kröpelin 1990b, 1993a).



Abb. 11.22: Aktualistischer Vergleich zum holozänen hygrischen Optimum: a) Heutiges Unteres Wadi Howar, 250 km vor der Mündung in den Nil, $17^{\circ}45'N$, b) Vergleichsaufnahme aus Nordkordofan bei $12^{\circ}50'N$ zur Veranschaulichung der Verhältnisse im Frühholozän.

Ein Datensatz für Nordafrika einschließlich der Arabischen Halbinsel (10–30°N, 17°W–60°E), der den Oberflächenzustand um 6000 a B.P. hinsichtlich der Vegetationsart, Abflußrichtung und der Alluvial-, See- und Feuchtgebietsflächen in einer Auflösung von $1^\circ \times 1^\circ$ beschreibt, ergibt für die Ostsahara zwischen 15° und 30°N sowie zwischen 16°E und dem Nil, d. h. unter Weglassung des Paläo-Tschadsees, eine Landoberfläche aus mindestens 1,5 % nachgewiesenen Seeflächen, 2 % Feuchtgebieten und 10 % Alluvialflächen (Hoelzmann et al. 1998).

Für die Ostsahara einschließlich des Tschadsee-Beckens (12°E bis zum Nil) ergeben sich sogar 6,4 % offene Seeflächen, 8,4 % Feuchtgebiete und 10,2 % Alluvialflächen. Es kann somit für die östliche Sahara ein Flächenanteil von ca. 20 % angenommen werden, der zumindest zeitweilig als regionale Wasserdampfquelle im Mittelholozän in Betracht kommt (Hoelzmann et al. 1998).

11.9.2 Beginn der holozänen Feuchtphase

Eine Übersicht der in jüngster Zeit stark angestiegenen Zahl radiokarbondatierter Basislagen frühholozäner Seen und Playas in der östlichen Sahara ergibt den überraschenden Befund einer von der Breitenlage anscheinend weitgehend unabhängigen Quasi-Simultanität des Einsetzens lakustriner Klimaindikatoren um 9300 a B.P. (Tab. 11.4). Hieraus läßt sich die Hypothese eines abrupten und überregionalen Klimawechsels um diese Zeit ableiten, welcher innerhalb kürzester Zeit den Raum zwischen etwa 17° und 24°N und damit den größten Teil der östlichen Sahara erfaßt hat (Kröpelin 1989a). Auch aus anderen Teilen der Sahara liegen entsprechende Datierungen um 9300 a B.P. vor, so z. B. aus Taoudenni in Mali (9320 \pm 260 a B.P., Riser et al. 1983).

Auffällig ist auch im Wadi Howar das Einsetzen der ersten holozänen Feuchtzeitindikatoren um die Zeitmarke von 9300 a B.P., wobei es sich anscheinend um ein überregionales Phänomen handelt (Kröpelin 1989a). Unter Berücksichtigung der anzunehmenden Grundwasserbeeinflussung der karbonatischen Paläoseen müßten feuchtzeitliche Bedingungen bereits vor Beginn lakustriner Sedimentation eingesetzt haben, da zunächst ein (lokaler) Grundwasseranstieg erfolgen mußte. An bestimmten Lokalitäten dürfte auch wegen der langsamen Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers eine Verzögerung der ersten Limnitbildung eingetreten sein. Diese Faktoren könnten in manchen Fällen den sogenannten Hartwassereffekt ausgeglichen haben, so daß der tatsächliche Beginn der holozänen Feuchtphase wirklich bei 9300 a B.P. angesiedelt sein dürfte.

Die Datenlage steht somit im Gegensatz zu der naheliegenden Annahme, daß sich unter der Modellvorstellung einer breitenparallelen Einengung der nordafrikanischen Wüstenräume während der Feuchtzeiten

Tab. 11.4: ^{14}C -Datierungen der Basis lakustriner Ablagerungen in der östlichen Sahara.

Lokalität	Breite N	a B.P.	±	Material	Quelle	Labor-Nr.
Dakhla*	25°30'	8.830	110	Straußenei- schalen	Brookes 1989	Beta- 23693
Kharga*	24°15'	9.260	370	Holzkohle	Pachur u. Braun 1980	Hv 8693
Gilf Kebir	23°15'	9.370	215	Holzkohle	Kuper 1981	KN 2879
Nabta Playa*	22°30'	9.360	70	Holzkohle	Wendorf u. Hassan 1980	SMU-200
Selima	21°20'	10.280	220	Organik	Haynes et al. 1989	A-2837
		9.700	200	Holzkohle	Ritchie u. Haynes 1987	A-2251
		9.120	200	Sapropel	Pachur u. Kröpelin 1989	Hv 12380
Bir Bidi	19°15'	8.910	200	Holzkohle	Haynes u. Mead 1987	AA-319
Oyo	19°15'	8.900	120	Holzkohle	Haynes 1987	A-2836
W. Karambaru	18°30'	9.300	160	Holzkohle	Haynes 1987	A-3246
El Atrun	18°10'	9.880	100	Sapropel	Ritchie u. Haynes 1987	TO-181
		9.300	100	Holzkohle	Pachur et al. 1990	Hv 14447
Wadi Howar	17°30'	9.430	85	Kalkmudde	Pachur u. Röper 1984	Hv 12380
Goz Abu Dulu	17°15'	9.210	230	Karbonat	Gläser 1987	HAM 2454
L. Siddiq-Süd	17°00'	9.320	120	Karbonat	Pachur et al. 1990	Hv 15545
		9.375	120	Karbonat	Pachur et al. 1990	Hv 15547
Gureinat	17°00'	9.335	70	Karbonat	Pachur et al. 1990	Hv 16253

* Ältestes Datum, jedoch keine Basislage

(z. B. Wickens 1982) das Ansprechen sedimentologischer Indizien im Zentrum der Sahara deutlich später als an deren Peripherie einstellen sollte. Ebenso steht sie im Gegensatz zum Verlauf der im mittleren Holozän einsetzenden Aridisierung, die deutlich eine Funktion der Breitenposition ist und eine kontinuierliche und relativ langsame Austrocknung der Sahara von den Kernzonen bis hin zur aktuellen Sahelgrenze erkennen läßt (Pachur und Kröpelin 1989).

Die Hälfte der Daten basiert auf Holzkohle und ist deshalb als zuverlässig zu erachten; lediglich die Karbonatdatierungen der Basisstraten der im und südlich des Wadi Howar gelegenen Paläoseen könnten wegen des Hartwassereffekts zum Älteren verschobene wahre Alter besitzen. Unabhängig davon reichen allein die HolzkohleDaten aus dem Wadi el Akhdar im Gilf Kebir (23°15'N, 9370 ± 215 a B.P.) und El Atrun (18°10'N, 9300 ± 100 a B.P.) aus, das innerhalb der Mutungsintervalle gleichzeitige Einsetzen semilakustriner bzw. lakustriner Sedimentation an in N-S-Richtung über 500 km auseinanderliegenden Punkten zu belegen. Das kontemporäre Ansprechen der sedimentologischen Indizien geschah dabei unabhängig von der Tatsache, daß es sich im einen Fall um eine grundwasserferne, durch reinen Oberflächenzufluß gespeiste Playa und im anderen Fall um einen grundwasser-gestützten See gehandelt hat.

Diese Ableitungen gehen noch über die von Haynes (1987) auf einer schmälere Datenbasis errechneten Beträge der Nordwanderung der „Sudano-Sahelian wetting front“ während der größeren Pluviale von durch-

schnittlich 0,5–1 km/a hinaus, wobei der höhere Wert gleichwohl eine sehr schnelle Verlagerung der Klimagrenzen impliziert (500 km in 500 Jahren). Ebenfalls wird ein schneller Anstieg der grundwassergestützten Seen konstatiert, der auf einen abrupten Klimawandel hinweist (Haynes 1987).

Selbst unter Einbeziehung größerer Fehlermargen und der Plateauphasen der ^{14}C -Kurve bei den Daten in Tabelle 11.4 resultiert eine Klimagürtelverschiebung in einer subkontinentalen Dimension um mehrere hundert Kilometer innerhalb weniger Jahrhunderte. Dies wirft grundsätzliche klimatologische Fragen auf, da eine überregionale Grundwasserhebung wegen der extrem niedrigen Fließgeschwindigkeiten von vornherein ausgeschlossen werden kann. Sicherlich kann eine abrupte Klimaänderung dieses Maßstabs nicht durch die rein numerische Hochrechnung einer Folge von Vegetationsverschiebungen wie derjenigen nach den außergewöhnlichen Starkregen des Jahres 1988 erklärt werden, da es sich hierbei um die typischen, reversiblen Oszillationen am Rande der Wüste handelt und nicht um eine stationäre, mindestens 5500 Kalenderjahre anhaltende Verlagerung der Klimazonen wie während der Feuchtzeiten.

11.9.3 Niederschlagsabschätzungen

Abschätzungen der Niederschläge sind in jedem Fall mit großen Unsicherheiten behaftet. In der Gesamtbetrachtung der sedimentologischen, floristischen und faunistischen Indikatoren erscheinen unter Berücksichtigung der überregionalen Niederschlagsgradienten (Kröpelin und Pachur 1991, Petit-Maire und Kröpelin 1991) Beträge von etwa 400–450 mm für das Optimum der holozänen feuchtzeitlichen Verhältnisse als bester Schätzwert; diese Werte liegen deutlich über den früher für die Region postulierten Beträgen (Butzer 1958/59). Derartige Niederschläge fallen gegenwärtig in der Breite von En Nahud ($12^{\circ}30'\text{N}$), wo auch die nördlichsten Seen der sudanesischen Sahelzone vorkommen.

Für die ausklingende Feuchtphase im zweiten vorchristlichen Jahrtausend können noch etwa 200 mm angenommen werden. Die nördlichsten permanenten Siedlungen mit Hirseanbau in Nord-Kordofan und Darfur befinden sich auch heute im Bereich der 200mm-Isohyete (Wickens 1975). Für die feuchte Episode um die Zeitenwende werden Beträge um 100 mm Jahresniederschlag veranschlagt. Damit war das Gebiet für den größten Teil des Holozäns in ein Klimaregime eingebettet, dessen Niederschläge zur Grundwasserneubildung durch Infiltration insbesondere in den Wadis beitragen mußten, da für eine solche nach Modellrechnungen generell bereits erheblich niedrigere Werte ausreichend wären (Brinkmann et al. 1988, Thorweihe et al. 1990).

11.9.4 Südwanderung der Sahara

Angesichts der obigen Paläoniederschlagsschätzungen ergibt sich für das Untere Wadi Howar $17^{\circ}30'N$ unter der Annahme einer den heutigen Verhältnissen ähnlichen Isohyetenstaffelung, daß zum frühholozänen Feuchtemaximum die Isohyeten und damit auch die eigentliche Wüstengrenze etwa 700–800 km nördlicher als heute verlaufen sind.

Die im mittleren Holozän einsetzende Nord-Süd-Bewegung des Wüstenrands dürfte überwiegend auf die globale Klimaentwicklung zurückgehen. In den Siedeldünen, aber auch in den ausgedehnten prähistorischen Fundplätzen bestehen jedoch Hinweise, daß Desertifikationsprozesse ungewissen Ausmaßes im Unteren Wadi Howar schon in früher Zeit eine Rolle gespielt und damit die Auswirkungen der Aridisierung beschleunigt haben könnten (Pachur und Kröpelin 1989).

Im Vergleich zum heute hyperariden Zentrum der östlichen Sahara im Bereich des Wendekreises ($23^{\circ}30'N$), in dem die definitive Austrocknung auch in Gunsträumen um 5000 a B.P. eingesetzt hat (Kröpelin 1987, 1989b), begann diese in der Breite des Wadi Howar ($17^{\circ}30'N$) erst rund 2000 Jahre später um 3000 a B.P. Zur Mitte des Holozäns herrschten in Südägypten und im nördlichen Sudan demnach noch stark kontrastierende Umweltverhältnisse, die sich erst später anglichen (Kröpelin 1993b, c). Daraus kann unter der Annahme einer subparallelen Verschiebung der Paläo-Isohyeten in der an klimatisch wirksamen Relieferhebungen armen Region eine durchschnittliche Südwanderungsrate der Sahara von etwa einem Breitengrad pro 300 Jahre abgeleitet werden. Kaum zweifelhaft ging diese Verschiebung nicht kontinuierlich und unidirektional, sondern oszillierend vonstatten.

Um die Zeitenwende erlebte das UWH erneut eine klimatisch-ökologisch günstigere Klimaepisode, welche sich mit paläoklimatischen Ergebnissen aus anderen Regionen korrelieren läßt.

Danach scheint sich jedoch die Südwanderung der Sahara verlangsamt zu haben, da sich deren aktuelle Grenze nach den gängigen Kriterien (insbesondere der 150mm-Isohyete) kaum mehr als 300 km südliche vom Unteren Wadi Howar festlegen ließe. Dies deutet auf eine relativ rasche Aridisierung zwischen 5000 und 3000 a B.P., die dennoch bei weitem nicht mit der Geschwindigkeit der frühholozänen, quasi-simultanen Humidisierung, also dem Einsetzen feuchtzeitlicher Bedingungen um 9500 a B.P., standhalten kann (Kröpelin 1989a).

In deren Folge stellte sich eine nur noch graduelle Verlagerung der Klimazonen ein, die angesichts der für 2000 a B.P. postulierten Feuchtepisode sogar reversibel war. Die Südverlagerung des Wüstensaums hat jedoch angesichts der noch beträchtlich weiter nach Süden reichenden fossilen Goz-Dünen (Gläser 1987, Grove und Warren 1968) trotz des heute wohl dominierenden Faktors der (anthropogenen) Desertifikation noch längst nicht den Verlauf der rein klimatisch bedingten prä-holozänen Südgrenze der Sahara erreicht.

11.9.5 Änderungen im Monsunsystem

In der Vergangenheit waren die vom Monsun beeinflussten Klimazonen starken Schwankungen unterworfen. Diese betrafen nicht nur die Intensität und jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge, sondern vor allem deren Verbreitung (Kröpelin und Petit-Maire im Druck, Van Zinderen Bakker 1967).

Frühere Klimaschwankungen, die in marinen und terrestrischen Sedimenten gespeichert sind, stellen bis heute das beste Szenario für künftige Klimaänderungen dar, welche aufgrund der anthropogenen Einwirkungen viel schneller ablaufen könnten als in der Vergangenheit. Das Verständnis vergangener Monsunsysteme ist deshalb die Voraussetzung für die Modellierung und Vorhersage der Klimaentwicklung der kommenden Jahrhunderte (Kröpelin 1993d).

Die quartärgeologischen Geländearbeiten im Rahmen des Berliner Sonderforschungsbereichs 69 „Geowissenschaftliche Probleme in ariden und semiariden Gebieten“ sowie des ebenfalls von der Deutschen Forschungsgemeinschaft getragenen Projekts „Besiedlungsgeschichte der Ostsahara“ (B.O.S.) lassen sich dahingehend interpretieren, daß tropische Monsunregen während der Feuchtphasen zwischen 10.000 und 5000 a.B.P. bis zu 800 km weiter nach Norden gereicht haben (Abb. 11.23). Dies hatte zur Folge, daß die heute völlig unbesiedelten Extremwüsten Südsaharas und des Nordsudans mit einer Gras- bzw. Strauch- und Baumvegetation bedeckt waren, die dem neolithischen Menschen und verschiedensten Savanntentieren günstige Lebensbedingungen bot.

Umgekehrt lag der Wüstenrand zum letzten glazialen Maximum vor 21.000 Jahren mehr als 400 km südlicher als heute, weshalb große Teile der heute dichtbesiedelten Sahelzone unbewohnbar waren. Hieraus ergibt sich eine Verlagerung der Monsunzone von über 1000 km. Ähnlich drastische Verschiebungen der Niederschlagsfronten lassen sich auch in China, Indien oder Australien nachweisen (Guo et al. im Druck, Gasse und Campo 1994).

Bohrkerne von Tiefseeablagerungen, die im Indischen Ozean vor der Küste Saudi-Arabiens entnommen wurden, zeigen, daß die Verschiebung des Monsungürtels sehr rasch, im Zeitraum von wenigen Jahrhunderten erfolgt ist (Overpeck et al. 1996, Sirocko et al. 1993), was entsprechende Ergebnisse vom afrikanischen Festland (Abschn. 11.9.2) bestätigt und bestehende Modellvorstellungen revidiert.

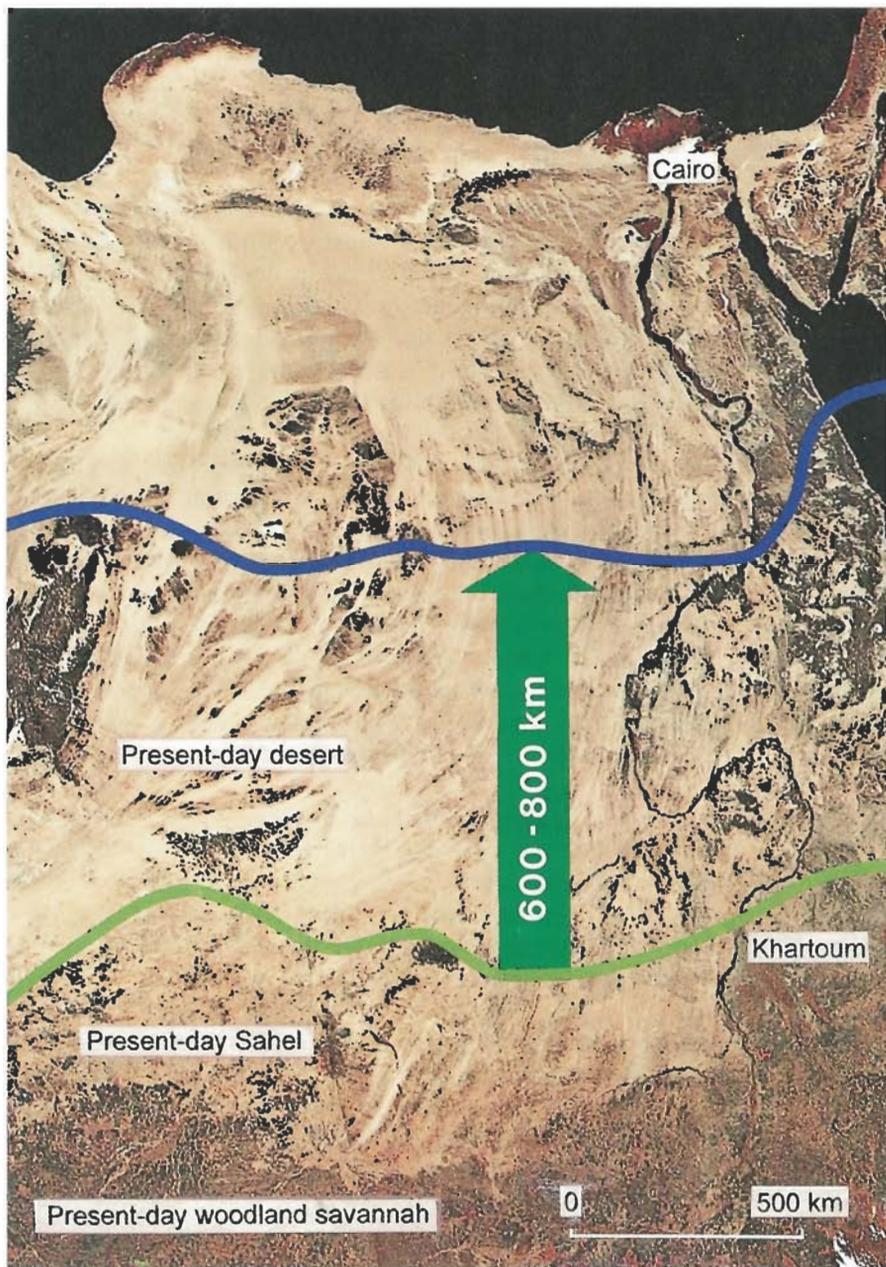


Abb. 11.23: Schematische Darstellung der Verschiebung der Vegetationszonen zum frühholozänen Klimaoptimum (blaue Linie) im Vergleich zu heute (grüne Linie) aufgrund des Vordringens monsunaler Niederschlagssysteme.

11.10 Perspektiven

11.10.1 Forschungsprogramm für Sonderforschungsbereich 389

Das Untere Wadi Howar bietet noch ein großes Potential für künftige geowissenschaftliche Arbeiten, insbesondere zu einer hochauflösenden Umweltrekonstruktion und Paläoklimatologie. Diesem wird im Forschungsprogramm des im Juli 1995 eingerichteten Sonderforschungsbereichs 389 zum Kultur- und Landschaftswandel im ariden Afrika an der Universität zu Köln Rechnung getragen.

Paläoklimatisch vielversprechende Ansätze zu hochauflösender Chronologie und Saisonalität wie die Präzisionsdatierung und Auswertung feinlaminiertes Travertine oder Sauerstoffisotopenanalysen an Molluskengehäusen wurden erst angerissen. Insbesondere sollten die ersten Hinweise auf zwei jährliche Regenzeiten auch angesichts ihrer möglichen Implikationen für die Kalibrierung von Klimamodellen etwa im Rahmen des Paleoclimate Intercomparison Project (PMIP) überprüft werden.

Neue Technologien wie differentielle GPS-Höhenbestimmungen oder die SIR-C-Radaraufnahmen eröffnen neue Wege zur Untersuchung und Kartierung der aquatischen Ablagerungen, Talwege und fossilen Entwässerungsnetze. So konnten auf erneuten Befahrungen anhand durchgehender GPS-Messungen erstmals gesicherte Daten zum Zusammenhang der Limnite und Flußschüttungen entlang des UWH gewonnen werden.

Zweifellos bergen die Siedeldünen ein kaum zu unterschätzendes archäologisches Potential für die Besiedlungsgeschichte der südöstlichen Sahara. Im Rahmen erster Surveyfahrten des Sonderforschungsbereichs 389 konnten bereits über 50 weitere Siedeldünen kartiert werden (Keding 1997a). Vor allem die Siedeldünenketten von Abu Tabari versprechen Einblicke in Unterschiede der Artefaktvergesellschaftung, der Besiedlungsdichte, des Einzugsbereichs, der Rohmaterialien und insbesondere des Zeitpunkts und der Dauer der verschiedenen Siedlungsphasen. Thermolumineszenzdatierungen der unter den Kulturschichten liegenden Dünensande verheißen eine Präzisierung des Alters der Parabeldünen. Eine übergeordnete Fragestellung zielt auf die Rolle der Siedlungsdünen als kulturelle Verbindungsglieder zu den Fundplätzen im Mittleren Wadi Howar (Keding 1997b).

Auch die Grabhügel und vor allem die Festungsanlage, in deren Umgebung jüngst Felsritzungen gefunden wurden, harren einer archäologischen Bearbeitung, die eine Datierung dieses für die Region einmaligen Bauwerks erwarten ließe. Für weitere prähistorische Untersuchungen scheinen Fundstellen wie der Gureinat-Paläosee oder der Lake-Siddiq-Komplex besonders geeignet, da sich dort verschiedene holozäne und pleistozäne Seeniveaus finden, die offenbar mit einer weit zurückreichenden Siedlungsabfolge korrelieren.

In überregionaler Sicht eröffnen sich interessante Fragestellungen in einem interhemisphärischen Vergleich fluvialer, lakustriner und äolischer Systeme im nordöstlichen und südwestlichen Afrika. Die daraus zu erwartenden Daten werden zur Klärung der Frage einer synchronen oder gegenläufigen Klimaentwicklung Afrikas im Holozän beitragen, deren kulturelle und sozioökonomische Auswirkungen bis in die Gegenwart wirksam sind.

11.10.2 Neulanderschließung im Rahmen des geplanten Nil-Staudamms

Seit mehreren Jahren laufen Vorbereitungen zum Bau des Marua-Hamdab-Staudamms am 4. Katarakt nahe Karima. Dieser würde den Nil auf eine Länge von etwa 100 km aufdämmen, wodurch zahlreiche Ortschaften entlang des Nil überschwemmt würden. Zur Umsiedlung der betroffenen Dörfer werden auch das Wadi Malik südwestlich von Ed Debba sowie der Mündungsbereich des UWH westlich von Ghabba in Erwägung gezogen.

Landwirtschaftliche Projekte im östlichen Unteren Wadi Howar erscheinen bei einer ausreichenden Zahl von Tiefbrunnen im nilnahen Talabschnitt nicht gänzlich abwegig, erforderten jedoch zunächst eine genaue bodenkundliche und hydrogeologische Bestandsaufnahme und Bewertung. Selbstverständlich ist bei jeglicher Nutzung fossiler Grundwasservorräte in dieser Region höchste Vorsicht geboten.

11.10.3 Naturschutzprojekt „Wadi-Howar-Nationalpark“

Obwohl mehr als ein Viertel der Erdoberfläche aus Wüsten besteht, gibt es dort nur wenige Nationalparks. Diese befinden sich zumeist in relativ wenig ariden Gebieten Nordamerikas und in Australien. In der Sahara, der größten Wüste der Welt, unterliegen nur 2,5 % der Gesamtfläche von 8,6 Millionen km² dem Schutzstatus von Nationalparks. Diese sind der Parc National du Banc d'Arguin an der Küste Mauretaniens (12.000 km²), der Air Ténéré NP im nördlichen Niger (75.000 km²) und die Nationalparks von Ahoggar (45.000 km²) und Tassili N'Ajjer (80.000 km²) in Algerien.

Der mit 2,5 Millionen km² größte Flächenstaat Afrikas, die Republik Sudan, besitzt kein einziges Naturschutzgebiet in seinen Wüstengebieten, obwohl diese die Hälfte seines Territoriums und nahezu die gesamte südöstliche Sahara ausmachen. Die bestehenden, in den letzten Jahren stark degradierten Bandingilo-, Boma- und Dinder-Nationalparks nehmen nur 48.000 km² bzw. 1,9 % der Landesfläche ein und liegen wie der vorgeschlagene Suakin Archipelago National Park sämtlich in der semihumiden Zone.

Bereits 1975 wurde in einem Bericht über eine Erkundung der Wüsten- ausbreitung im nördlichen Sudan vorgeschlagen, die westliche Hälfte des mittleren Wadi Howar zum Wildschutzgebiet oder Nationalpark zu erklären, um das Aussterben der letzten Wüstentiere zu verhindern (Lamprey 1976/ 1988). Zu dieser Zeit standen die Krummschwerthorn-Oryxe kurz vor der Ausrottung, die Dorcasgazellen waren stark gefährdet.

In der Zwischenzeit wurde jedoch nichts unternommen, und es ist davon auszugehen, daß die Oryx- und Addaxbestände inzwischen ausgerottet sind. Lampreys Vorschlag wurde dennoch aufgenommen, allerdings aufgrund der inzwischen erarbeiteten Datenlage mit erweiterter Zielsetzung. Es wurde vorgeschlagen, ein Geo-Biosphärenschutzgebiet ungefähr 250 km weiter östlich von dem von Lamprey (1976/1988) vorgeschlagenen Gebiet zu schaffen und es „Wadi Howar National Park“ (WHNP) zu nennen (Kröpelin 1993e, 1996). Abbildung 11.24 zeigt die geplante Parkfläche, die zwischen den Breiten 15°20' und 20°15'N und den Längen 25°40' und 28°30'E liegt und eine Gesamtfläche von fast 100.000 km² einnimmt. Die Süd-Nord-Achse erstreckt sich über etwa 550 km von der Sahelzone bis in die hyperaride Wüste.

Aufgrund ihrer geographischen, biologischen und archäologischen Gegebenheiten erscheint die Wadi-Howar-Region als wichtigste Priorität neu zu gründender Nationalparks in der Republik Sudan. Das vorgeschlagene Parkgebiet ist geologisch vielfältig und umfaßt den nördlichen Teil der vulkanischen Meidob Hills mit seiner eindrucksvollen Kraterlandschaft, die Lateritvorkommen des Jebel Tawiga, den metamorphen, z. T. ophiolithischen Jebel-Rahib-Komplex (Schandelmeier et al. 1990), die ausgedehnten granitoiden Grundgebirgsflächen und Inselberge mit ihrem typischen Woll- sackrelief sowie die Sandsteinplateaus, Steilhänge und Zeugenberge von Jebel Tageru, Laqiya und Zolat el Hammad (Abb. 11.25a, b). Der Kratersee von Malha, der grundwassergespeiste Salzwassersee von Nukheila und die Oase von Laqiya Arba'in zählen zu den attraktivsten Wasserstellen der Sahara (Abb. 11.25c, d). Viel zahlreicher und weiter verbreitet sind die früh- bis mittelholozänen karbonatischen Paläoseen und silikatischen Playa-Ablagerungen, die überwiegend zu aerodynamischen Yardangfeldern deflatiert sind (Abb. 11.25e, f). Die aktiven Barchanzüge auf den weiten Hamada- und Serirflächen besitzen wie die Dünenformationen im Wadi Howar einen besonderen landschaftlichen Reiz (Abb. 11.25g).

Auch die Zufahrtzonen zum vorgeschlagenen Park bieten eine Vielfalt an interessanten Landschaften wie das Great Selima Sand Sheet mit dem isolierten Fels von Burget Tuyur, die malerische Selima-Oase, die Marmorhügel in der Nähe von Laqiya Umran, das Kalksteinplateau des Jebel Abyad, die hohe Stufe des Jebel Nagashush mit dem davor gelegenen Wadi Milk, das Taiga-Plateau und das große Dünengebiet im östlichen Vorland des Ennedi-Berglands und der Mourdi-Depression.

Ein Hauptzweck des vorgeschlagenen WHNPs ist die Erhaltung, Rehabilitation und Wiedereinführung an Wüstenbedingungen hochangepaßter Tiere. In besonderen Wildschutzgebieten in der Umgebung der Akazienbestände von Wadi Magrur, Rahib Wells, El Atrun und Laqiya könnten Huftiere

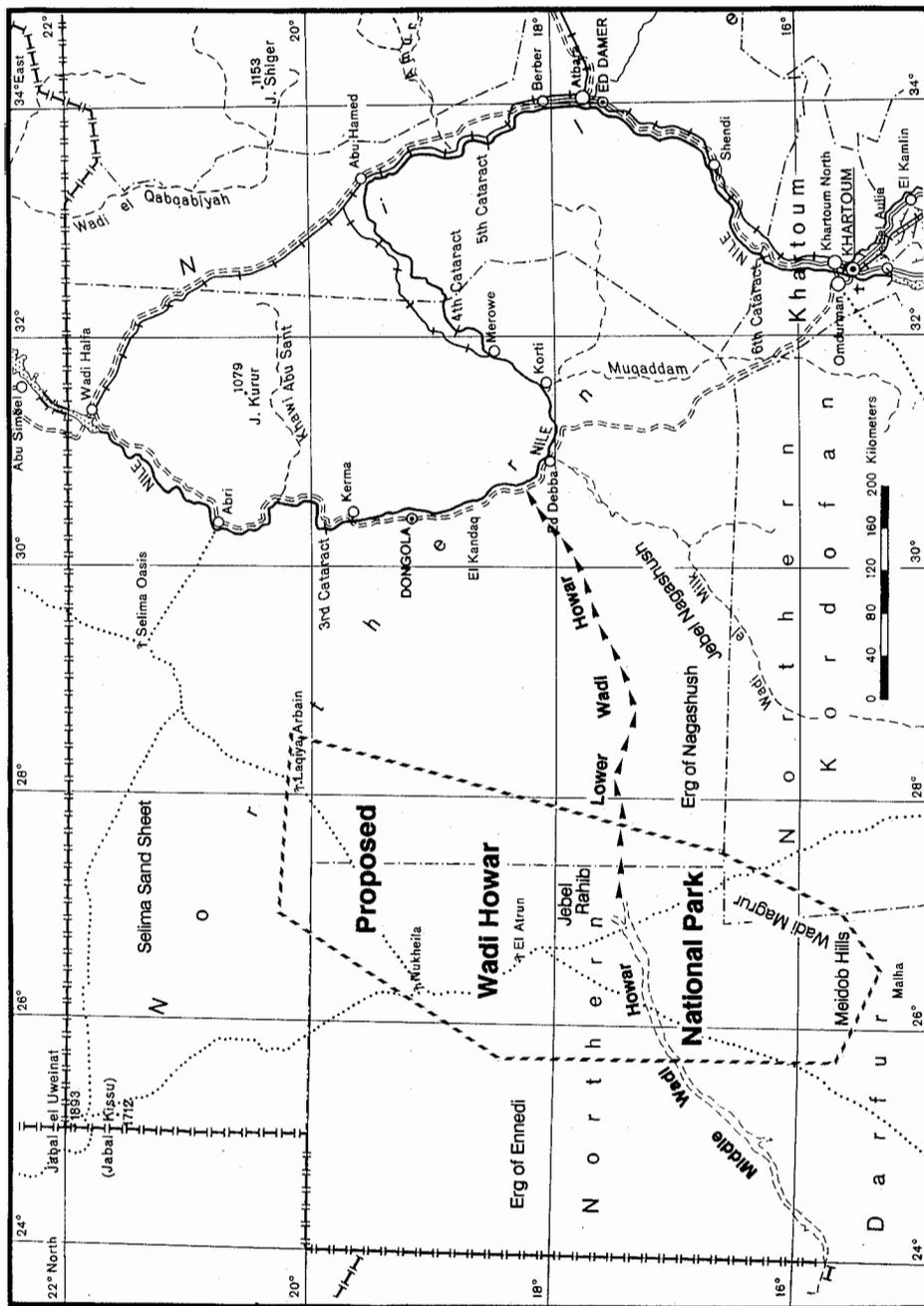


Abb. 11.24: Vorgeschlagenes Gebiet für den Wadi Howar-Nationalpark (WHNP).

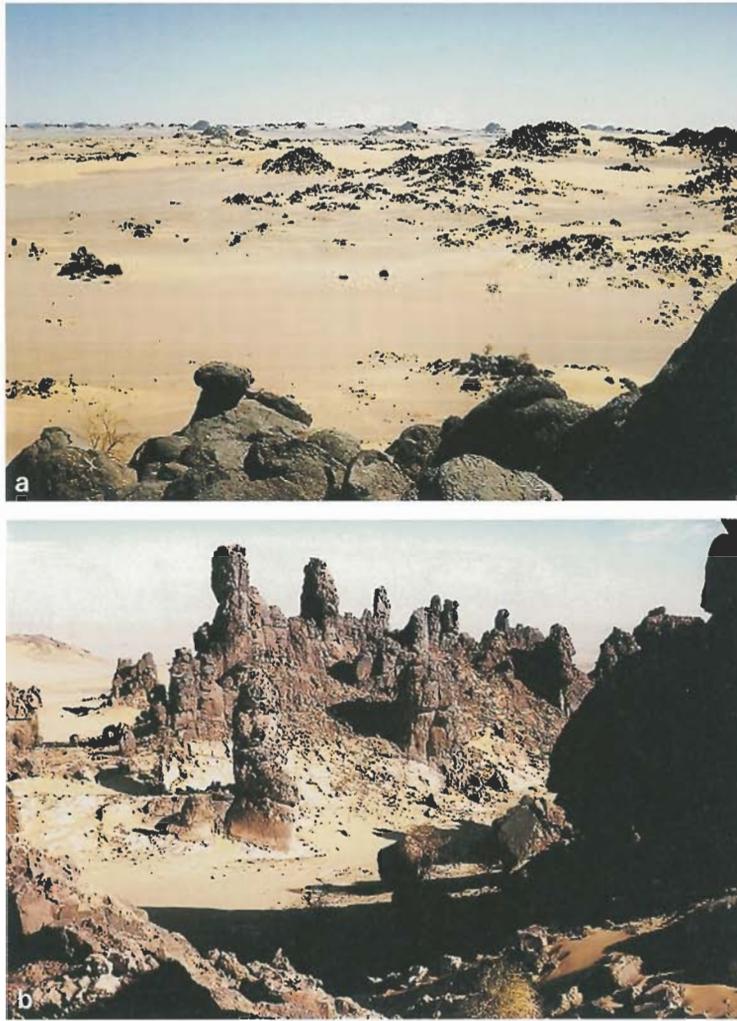
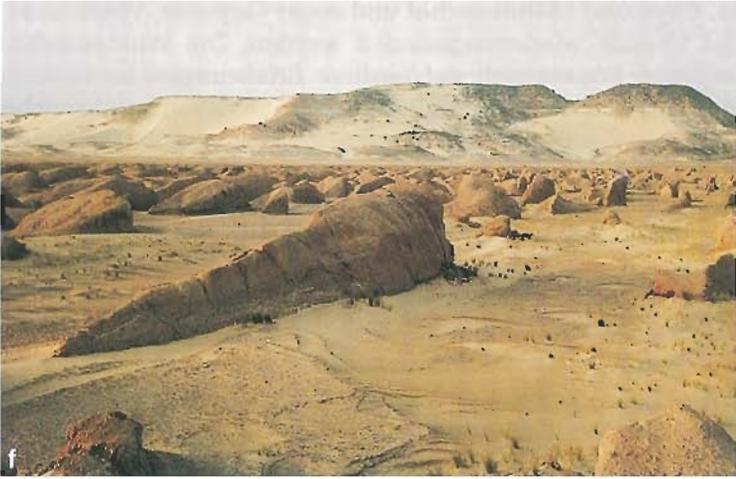


Abb. 11.25: Landschaften und Ablagerungen der Wadi Howar-Region

- a) Granitlandschaft bei Abu Tabari
- b) Sandsteinpfeiler von Zolat el Hammad
- c) Malha-Krater
- d) Salzwassersee von Nukheila
- e) Frühholozäne Seekreiden des Gureinat-Paläosees
- f) Windgeformte Sumpfablagerungen vor Laqiya-Stufe
- g) Dünen und Akazien südlich des Jebel Rahib
- h) Karawanenstraße Darb el Arbain bei Laqiya Arbain.





wie Addax, Oryx und Mähnschaf und sogar Geparde, Wildhunde, Hyänen, Falken und Strauße wiederangesiedelt werden. Die Wiedereinführung von Addax-Antilopen könnte sich auf positive Erfahrungen im südlichen Tunesien und im Air-Nationalpark, diejenige von Oryx auf erfolgreiche Projekte in Oman stützen. Zum anderen könnten die letzten Dorcasgazellen-Populationen vor der endgültigen Ausrottung bewahrt werden.

Die Wiederbelebung der Tierwelt erfordert den Schutz und die Erhaltung der natürlichen Baum- und Strauchvegetation (Akazien, *Salvadora persica*, *Capparis decidua*) und eine verträgliche Nutzung der ephemeren Gizzu-Vegetation. Die relativ dichte Busch- und Baumvegetation im mittleren Wadi Howar und im Laqiya-Tal bietet sich als Weide- und Schutzgebiet, das Wadi Magrur als Hauptmigrationskorridor von der Sahelzone zur Vollwüste an.

Der bislang von Geländetourismus verschont gebliebene nordwestliche Sudan bietet einige der letzten intakten neolithischen und paläolithischen Oberflächenfundstellen in der Sahara (Kuper 1981). Weitere zu schützende archäologische Kulturdenkmäler sind die Felsbilder von Zolat el Hammad und Wadi Hussein (Rhotert 1952), die außergewöhnlichen prähistorischen Siedlungsdünen, Grabhügel, die vermutlich meroitische Festung und historische Überreste entlang der Darb el Arba'in, der ehemals wichtigsten Karawanenroute durch die östliche Sahara (Abb. 11.25h).

Geologisch relevante Standorte sollten in ihrem integeren Umfeld belassen und in die Global Indicative List of Geologically Relevant Sites (GILGERS) der UNESCO aufgenommen werden.

Wissenschaftliche Interessen bestehen in einem langfristigen ökologischen Monitoring der Dynamik des Wüsten-Sahel-Grenzsaums durch Aridisierung und Desertifikation unter kontrollierten Bedingungen als Beitrag zur Diskussion der Wüstenausdehnung im Rahmen der Global-Change-Programme. Meteorologische Meßstationen lieferten die ersten verlässlichen Klimadaten dieser enormen Region, die sich bei Fortsetzung des seit 1988 anhaltenden Trends zunehmender Niederschläge als von besonderer Bedeutung für ein mögliches „Grünwerden der Sahara“ (Petit-Maire 1990) erweisen könnten.

Das WHNP-Projekt kann jedoch nicht nur unter wissenschaftlichen und Umweltschutzaspekten betrachtet werden, sondern muß auch ökonomischen und administrativen Aspekten Rechnung tragen. In ökonomischer Hinsicht bedeutete die Einrichtung eines Wüstennationalparks die Inwertsetzung eines bisher ungenutzten Raums ohne Bevölkerungsdruck und konkurrierende Ansprüche. Der Tourismus des Lands würde ergänzt durch die Entwicklung eines naturverträglichen Wüsten-Ökotourismus, der gleichzeitig ein Motor der Verbesserung der Infrastruktur der Nordprovinzen sein könnte.

Die Prävention irreparabler Schäden an der naturräumlichen und archäologischen Ausstattung der in ihrer Intaktheit einzigartigen nordsudanesischen Wüsten kann nur durch die rasche Verhängung eines Schutzstatus für die Wadi-Howar-Region erreicht werden. Der im Vergleich zu nahezu

allen anderen Naturschutzgebieten der Erde minimale Bevölkerungsdruck bietet günstige Voraussetzungen für dessen Implementierung.

Die eineinhalb Jahrzehnte lange kooperative geowissenschaftliche Grundlagenforschung des Sonderforschungsbereichs 69 „Geowissenschaftliche Probleme in ariden und semiariden Gebieten“ im nordwestlichen Sudan und deren Fortsetzung im neugegründeten Sonderforschungsbereich 389 „Kultur- und Landschaftswandel im ariden Afrika“ bieten eine breite wissenschaftliche Basis für die Planung und Realisierung des Wadi-Howar-Nationalparks.

11.11 Danksagung

Mein Dank gilt Baldur Gabriel, Eberswalde, Rudolph Kuper, Köln, und Hans-Joachim Pachur, Berlin, für die gute Zusammenarbeit während der insgesamt fast drei Jahre langen Geländeaufenthalte in der östlichen Sahara. Stellvertretend für viele Mitglieder des Sonderforschungsbereichs 69 möchte ich dessen Sprecher, Eberhard Klitzsch, sowie Heinz Schandelmeier und Ulf Thorweihe in meinen Dank einbeziehen.

Die Geländearbeiten im Nordsudan wären ohne die hervorragende Zusammenarbeit mit dem Geological Research Authority of Sudan (GRAS), dessen Direktor Omar Kheir hier ausdrücklich gedankt sei, nicht möglich gewesen.

Folgende Fachleute haben mit z.T. zeitaufwendigen Spezialuntersuchungen zum interdisziplinären Ansatz beigetragen:

Paul Abell, Rhode Island, für Sauerstoffisotopenbestimmungen an Gastropodengehäusen;

Joachim Boessneck, Angela von den Driesch, Joris Peters, München, sowie Hans Peter Uerpman, Tübingen, für osteologische Untersuchungen;

Gerhard Franz, Berlin, für petrographische Hinweise;

Mebus A. Geyh, Hannover, für Radiokarbondatierungen;

Albert Mead, Tucson (Arizona), für eingehende Untersuchungen an Landschneckengehäusen;

Bernd Meissner und Ulla Ripke, Berlin, für Aufbereitung von Fernerkundungsdaten;

Wim van Neer, Tervuren (Belgien), für Artbestimmungen anhand mikroskopisch kleiner Fischknochenfragmente;

Katharina Neumann, Frankfurt am Main, für Holzartenbestimmungen an Holzkohlepartikeln und Holzresten;

Hartwig Schütt, Düsseldorf, für malakologische Bestimmungen und Hinweise zu deren ökologischer Interpretation;

Ingeborg Soulié-Märsche, Montpellier (Frankreich), für die Bestimmung der Charophyten.

Diskussionen und eine umfangreiche Korrespondenz mit zahlreichen Sahara-Forschern haben zur gedanklichen Durchdringung des Themas beigetragen, von denen hier nur C. Vance Haynes (Tucson/Arizona), Carol Breed (Flagstaff/Arizona), Desmond Clark (Berkeley), Friedrich Hinkel (Berlin), John McCauley (Flagstaff/Arizona), Nicole Petit-Maire (Marseille), William McHugh (Wilkesburg/Pennsylvania), Théodore Monod (Paris), Hans Rhotert (Siegsdorf), Pierre Rognon (Paris), Rushdi Said (Washington D.C.), Thierry Tillet (Limoges) und Fred Wendorf (Dallas/Texas) genannt seien.

Schließlich möchte ich nicht versäumen, meinen früheren Kollegen Norbert Altmann, Michael Goschin, Philipp Hoelzmann, Mohamed Ali Idrisi, Hans-Peter Röper und Siddiq Abdelgadir Ahmed für ihre Hilfe bei den Geländearbeiten zu danken.

Literatur

- Abell, P.I. (1985): Oxygen Isotope Ratios in Modern African Gastropod Shells: A Data Base for Paleoclimatology. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)* 58, 183–193.
- Almásy, L.E. (1934): *Az ismeretlen Szahara*. Budapest: Franklin Társulat.
- Almond, D.C., Ahmed, F., Khalil, B.E. (1969): An Excursion to the Bayuda Volcanic Field of Northern Sudan. *Bull. Volcanol.* 33, 549–565.
- Altmann, N. (1990): Distribution and Floristic Composition of the ‚Gizzu‘ Vegetation 1988/89. *Berliner geowiss. Abh. (A)* 120.1, 209–212.
- Bagnold, R.A. (1933): A Further Journey through the Libyan Desert. *Geogr. J.* 82, 103–129, 211–235.
- Barth, H., Homrighausen, R., Jar En Nabi, M.E., El Amin, O.K., Meinhold, K.D., Schmid-Thomé, M., Willms, J. (1981): Geological Map of the Bayuda Desert, Sudan. 1 : 250.000. Hannover: Bundesanstalt f. Geowiss. u. Rohstoffe.
- Brinkmann, P.J., Heinel, M., Holländer, R. (1988): Grundwasserströmung im Nubischen Aquifersystem, Nordost-Afrika. *Mitt. Inst. f. Wasserbau und Wasserwirtschaft* 110, 1–166. TU Berlin.
- Butzer, K.W. (1958/59): Studien zum vor- und frühgeschichtlichen Landschaftswandel der Sahara. I. Die Ursachen des Landschaftswandels der Sahara und Levante seit dem klassischen Altertum. II. Das ökologische Problem der Neolithischen Felsbilder der östlichen Sahara. III. Die Naturlandschaft Ägyptens während der Vorgeschichte und der Dynastischen Zeit. *Akad. Wiss. Lit. Mainz. Abh. Math.-Naturwiss. Kl.* 1958: 1–49, 1959: 1–80. Wiesbaden: Franz Steiner Verl.
- El-Fandy, M.G. (1948): The Effect of the Sudan Monsoon Low on the Development of Thundery Conditions in Egypt, Palestine and Syria. *Quat. J. Roy. Meteor. Soc.* 74, 31–38.
- Frobenius, L., Rhotert, H. (1934): Die Ergebnisse der 11. Deutschen inner-afrikanischen Forschungsexpedition in die Libysche Wüste und den anglo-ägyptischen Sudan 1933. Beiblatt 4 zu den Mitteilungen des Forschungs-Instituts für Kulturmorphologie, 39–59.
- Fryberger, S.G., Goudie, A.S. (1981): Arid Geomorphology. *Progr. Phys. Geogr.* 5, 420–428.
- Gabriel, B. (1973): Steinplätze, Feuerstellen neolithischer Nomaden in der Sahara. *Libyca* 21, 151–168.
- Gabriel, B. (1986): Die östliche Libysche Wüste im Jungquartär. *Berliner geogr. Studien* 19, 1–216.
- Gabriel, B., Kröpelin, S. (1983): Jungquartäre limnische Akkumulationsphasen im Nordwest Sudan. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.* 48, 131–143.

- Gabriel, B., Kröpelin, S. (1984): Holocene Lake Deposits in Northwest Sudan. *Palaeoecol. Africa* 16, 295–299.
- Gabriel, B., Kröpelin, S. (1986): Habitats dunaires Néolithiques au Soudan septentrional et Implications paleoclimatiques. INQUA – ASEQUA Symp. Intern. Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire, Passé – Présent – Futur', Dakar, Senegal. Coll. Trav. Doc. ORSTOM 197, 157–160.
- Gabriel, B., Kröpelin, S., Richter, J., Czesla, E. (1985): Parabeldünen am Wadi Howar – Besiedlung und Klima in neolithischer Zeit im Nordsudan. *Geowiss. in unserer Zeit* 3, 105–112.
- Gasse, F., van Campo, E. (1994): Abrupt Post-glacial Climate Events in West Asia and North Africa Monsoon Domains. *Earth Planet. Sci. Lett.* 126, 435–456.
- Gläser, B. (1987): Altdünen und Limmite in der nördlichen Republik Sudan als morphogenetisch-paläoklimatische Anzeiger, 1–193. Hamburg: Krause-Druck.
- GMRD/BRGM (1981): Geological Map of the Sudan 1 : 2 000 000. Orléans.
- Graf, W.L. (1988): Fluvial Processes in Dryland Rivers, 1–346. Berlin: Springer.
- Grove, A.T., Warren, A. (1968): Quaternary Landforms and Climate on the South Side of the Sahara. *Geogr. J.* 134, 194–208.
- Guo, Z., Petit-Maire, N., Kröpelin, S. (im Druck): Holocene Non-orbital Climatic Events in the Present-day Arid Areas in Northern Africa and Asia. *Global and Planetary Change, Special Issue: „Paleomonsoon Variations and Environmental Change During the Late Quaternary“*.
- Haynes, C.V. (1987): Holocene Migration Rates of the Sudano-Sahelian Wetting Front, Arba'in Desert, Eastern Sahara, in: Close, A.E. (ed.): *Prehistory of Arid North Africa*, Southern Methodist. 69–84. Dallas: Univ. Press.
- Haynes, C.V., Eyles, C.H., Pavlish, L.A., Ritchie, J.C., Rybak, M. (1989): Holocene Palaeoecology of the Eastern Sahara, Selima Oasis. *Quatern. Sci. Rev.* 8, 109–136.
- Haynes, C.V., Mead, A.R. (1987): Radiocarbon Dating and Paleoclimatic Significance of Subfossil Limicolaria in Northwestern Sudan. *Quatern. Res.* 28, 86–99.
- Hinkel, F.W. (1979): The Archaeological Map of the Sudan. Fasc. II. The Area of the South Libyan Desert, 1–159, 26 maps. Berlin: Akademie Verl.
- Hoelzmann, P. (1993): Holozäne Limnite im Nordwest Sudan. Dissertation, Fachbereich Geowissenschaften, FU Berlin.
- Hoelzmann, P., Jolly, D., Harrison, S.P., Laarif, F., Bonnefille, R., Pachur, H.-J. (1998): Mid-Holocene Land-surface Conditions in Northern Africa and the Arabian Peninsula: A Data Set for the Analysis of Biogeophysical Feedbacks in the Climate System. *Global Biogeochemical Cycles* 12, 35–51.
- Hulme, M., Tosdevin, N. (1989): The Tropical Easterly Jet and Sudan Rainfall, a Review. *Theor. Appl. Climatol.* 39, 179–187.
- Jas, C., Klitzsch, E., Schandelmeier, H., Wycisk, P. (1988): Geological Map of Northwest Sudan 1:1.000.000 El Atrun / NE 35. TFH Berlin.
- Kasaki, H. (1962): On the Distribution of *Nitellopsis* (Charophyta). *Acta Phytotaxonomia et Geobotanica* 20, 285–289.
- Katsuhara, M., Tazawa, M. (1986): Salt Tolerance in *Nitellopsis obtusa*. *Protoplasma* 135, 155–161.
- Keding, B. (1997a): Prehistoric Investigations in the Wadi Howar Region: A Preliminary Report on the 1995/96 Season. *Kush* 17, 37–46.
- Keding, B. (1997b): Djabarona 84/13 – Untersuchungen zur Besiedlungsgeschichte des Wadi Howar anhand der Keramik des 3. u. 2. Jahrtausends v. Chr. *Africa Praehistorica* 9, 1–371.
- King, W.J.H. (1913): The Libyan Desert from Native Information. *Geogr. J.* 42, 277–283, 1 map.
- King, W.J.H. (1916): Possible Former Connection between Lake Chad and the Nile. *Geogr. J.* 48, 431–432.

- Klitzsch, E., Wycisk, P. (1987): Geology of the Sedimentary Basins of Northern Sudan and Bordering Areas. *Berliner geowiss. Abh. (A)* 75.1, 97–136.
- Kowalski, K., van Neer, W., Bochenski, Z., Mlynarski, M., Rzebik-Kowalska, B., Szyndlar, Z., Gautier, A., Schild, R., Close, A., Wendorf, F. (1989): A Last Interglacial Fauna from the Eastern Sahara. *Quatern. Res.* 32, 335–341.
- Krause, W. (1985): Über die Standortansprüche und das Ausbreitungsverhalten der Stern-Armleuchteralge *Nitellopsis obtusa* (Desvaux). *J. Groves. Carolinae* 42, 31–42.
- Kröpelin, S. (1987): Palaeoclimatic Evidence from Early to Mid-Holocene Playas in the Gilf Kebir (Southwest Egypt). *Palaeoecol. Africa* 18, 189–208.
- Kröpelin, S. (1989a): The Onset of the Early Holocene Wet Phase in the Sahara, a Basis for Discussion, in: Ennabli, M. (ed.): *Proceedings 3rd Workshop IGCP 252, 'Past and Future Evolution of Deserts'*, Jerba (Tunisia) 23–29 October 1989, 43. Tunis.
- Kröpelin, S. (1989b): Untersuchungen zum Sedimentationsmilieu von Playas im Gilf Kebir (Südwest-Ägypten). *Africa Praehistorica* 2, 183–305.
- Kröpelin, S. (1990a): Lower Wadi Howar. *Berliner geowiss. Abh. (A)* 120.1, 223–234, 256–259.
- Kröpelin, S. (1990b): Lower Wadi Howar (Northwestern Sudan): An Open-air Analogon to the 'Radar Rivers' of Southwest Egypt? in: Davis, O. (ed.): *Fourth Annual Working-Group Meeting IGCP 252 'Past and Future Evolution of Deserts'*. March 6-9 1990, Tucson/Arizona, Abstracts 19.
- Kröpelin, S. (1993a): Zur Rekonstruktion der spätquartären Umwelt am unteren Wadi Howar (Südöstliche Sahara / Nordwest Sudan). *Berliner Geogr. Abh.* 54, 1–293.
- Kröpelin, S. (1993b): Geomorphology, Landscape Evolution and Paleoclimates of Southwest Egypt, in: Meissner, B., Wycisk, P. (eds.): *Geopotential and Ecology of the Western Desert, Egypt. Catena Supplement* 26, 31–66. Cremlingen: Catena.
- Kröpelin, S. (1993c): The Gilf Kebir and Lower Wadi Howar – Contrasting Early and Mid-Holocene Environments in the Eastern Sahara, in: Krzyzaniak, L., Kobusiewicz, M. (eds.): *Environmental Change and Human Culture in the Nile Basin and Northern Africa until Second Millenium B.C.*, 249–258. Poznan: Polish Academy of Sciences.
- Kröpelin, S. (ed.) (1993d): *Paleomonsoons in Africa and Surrounding Oceans: The Last 200.000 Years – Recommendations for Research. PAGES Workshop Report Series* 94–2.
- Kröpelin, S. (1993e): Environmental Change in the Southeastern Sahara and the Proposal of a Geo-Biosphere Reserve in the Wadi Howar Area (NW Sudan), in: Thorweih, U., Schandelmeyer, H. (eds.): *Geoscientific Research in Northeast Africa*, 561–568. Rotterdam: Balkema.
- Kröpelin, S. (1996): Suggesting Natural Heritage Sites in Remote Desert Areas, in: *Conservation and Management of Natural Heritage in Arab Countries, WHC-UNESCO-MAB Cairo*, 35–41.
- Kröpelin, S., Pachur, H.-J. (1991): 500 mm Annual Rainfall in Southwest Egypt during the Middle Palaeolithic? Some Remarks from the Geoscientific Point of View. *Sahara* 4, 158–161.
- Kröpelin, S., Petit-Maire, N. (eds.) (im Druck): *Paleomonsoon Variations and Environmental Change during the late Quaternary. Special Issue, Global and Planetary Change.*
- Kröpelin, S., Soulié-Märsche, I. (1991): Charophyte-remains from Wadi Howar as Evidence for Deep Mid-Holocene Freshwater Lakes in the Eastern Sahara of Northwest Sudan. *Quatern. Res.* 36, 210–223.
- Kuper, R. (1981): Untersuchungen zur Besiedlungsgeschichte der östlichen Sahara. *Beitr. Allg. Vergl. Archäol.* 3, 215–275.
- Kuper, R. (1986): Wadi Howar and Laqiya – Recent Field Studies into the Early Settlement of Northern Sudan, in: Krause, M. (Hrsg.): *Nubische Studien. Tagungsakten der 5. Internat. Konf. der International Soc. for Nubian Studies, Heidelberg*, 22.-25. Sept. 1982, 129–136. Zabern, Mainz.

- Kuper, R. (1988): Neuere Forschungen zur Besiedlungsgeschichte der Ost-Sahara. *Archäol. Korrespondenzbl.* 18, 127–142.
- Kuper, R. (1989): The Eastern Sahara from North to South, Data and Dates from the B.O.S.-Project, in: Krzyzaniak, L., Kobusiewicz, M. (eds.): *Late Prehistory of the Nile Basin and the Sahara*. Archaeological Museum Poznan, 197–203.
- Lamprey, H. (1976/1988): Report on the Desert Encroachment Reconnaissance in Northern Sudan: 21 October to 10 November 1975. *UNEP Desertification Control Bulletin* 17, 1–7.
- Leroux, M. (1983): *Le Climat de l'Afrique tropicale*, 2 tomes. Paris: Champion.
- McCauley, J.F., Breed, C.S., Schaber, G.G., McHugh, W.P., Issawi, B., Haynes, C.V., Grolier, M.J., El Kilani, A. (1986): Paleodrainages of the Eastern Sahara – The Radar Rivers Revisited (SIR-A/B Implications for a Mid-Tertiary Trans-African Drainage System). *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* GE-24, 624–648.
- McHugh, W.P., Schaber, G.G., Breed, C.S., McCauley, J.F. (1989): Neolithic Adaption and the Holocene Functioning of Tertiary Palaeodrainage in Southern Egypt and Northern Sudan. *Antiquity* 63, 320–336.
- Meissner, B., Schmitz, H.-J. (1983): Zur Kartierung alter Entwässerungssysteme in der Sahara mit Hilfe von Fernerkundungs-Daten – Am Beispiel des Nordwest-Sudan. *Berliner geowiss. Abh. (A)* 47, 87–93.
- Morel, J. (1982): Les Pierres à gorge du Sahara – Inventaire provisoire et Essai d'interprétation. *J. Africanistes* 52, 68–94.
- Neumann, K. (1989): Zur Vegetationsgeschichte der Ostsahara im Holozän. Holzkohlen aus prähistorischen Fundstellen (Mit einem Exkurs über die Holzkohlen von Fachi-Dogonboulo / Niger). *Africa Praehistorica* 2, 13–181.
- Newbold, D. (1924): *A Desert Odyssey of a Thousand Miles*. *Sudan Notes Rec.* 7, 43–92.
- Nicholson, S., Flohn, H. (1980): African Environmental and Climatic Changes and the General Atmospheric Circulation in Late Pleistocene and Holocene. *Climatic Change* 2, 313–348.
- Overpeck, J., Anderson, D., Trumbore, S., Prell, W. (1996): The Southwest Indian Monsoon over the Last 18000 Years. *Climate Dynamics* 12, 213–225.
- Pachur, H.-J. (1991): Tethering Stones as Palaeoenvironmental Indicators. *Sahara* 4, 13–33.
- Pachur, H.-J., Braun, G. (1980): The Palaeoclimate of the Central Sahara, Libya and the Libyan Desert. *Palaeoecol. Africa* 12, 351–363.
- Pachur, H.-J., Hoelzmann, P. (1991): Paleoclimatic Implications of Late Quaternary Lacustrine Sediments in Western Nubia, Sudan. *Quatern. Res.* 36, 257–276.
- Pachur, H.-J., Kröpelin, S. (1987): Wadi Howar: Paleoclimatic Evidence from an Extinct River System in the Southeastern Sahara. *Science* 237, 298–300.
- Pachur, H.-J., Kröpelin, S. (1989): L'Aridification du Sahara oriental à l'Holocène moyen et supérieur. *Bull. Soc. géol. France* 1989 (8ème sér.) 5, 99–107.
- Pachur, H.-J., Kröpelin, S., Hoelzmann, P., Goschin, M., Altmann, N. (1990): Late Quaternary Fluvio-Lacustrine Environments of Western Nubia. *Berliner geowiss. Abh. (A)* 120.1, 203–260.
- Pachur, H.-J., Röper, H.-P. (1984): The Libyan (Western) Desert and Northern Sudan during the Late Pleistocene and Holocene. *Berliner geowiss. Abh. (A)* 50, 249–284.
- Pachur, H.-J., Röper, H.-P., Kröpelin, S., Goschin, M. (1987): Late Quaternary Hydrography of the Eastern Sahara. *Berliner geowiss. Abh. (A)* 75.2, 331–384.
- Petit-Maire, N. (1990): Will Greenhouse Green the Sahara? *Episodes* 13, 103–107.
- Petit-Maire, N., Kröpelin, S. (1991): Les Climats holocènes du Sahara le long du Tropique du Cancer, in: Petit-Maire, N. (éd.): *Paléoenvironnements du Sahara – Lacs holocènes à Taoudenni (Mali)*, 205–210. Marseille-Paris: Editions du CNRS.
- Pflaumbaum, H. (1987): Waditerrassen- und Fußflächengenesse in der Bayuda-Wüste (Republik Sudan), 1–134. Hamburg.

- Picard, M.D., High, L.R.J. (1973): Sedimentary Structures of Ephemeral Streams, 1–223. Amsterdam: Elsevier.
- Rhotert, H. (1952): Libysche Felsbilder, 1–146. Darmstadt: Wittich.
- Richter, J. (1989): Neolithic Sites in the Wadi Howar (Western Sudan), in: Krzyzaniak, L., Kobusiewicz, M. (eds.): Late Prehistory of the Nile Basin and the Sahara, 431–442. Poznan: Archaeological Museum.
- Riser, J., Hillaire-Marcel, C., Rognon, P. (1983): Les Phases lacustres holocènes, in: Petit-Maire, N., Riser, J. (éds.): Sahara ou Sahel?, 65–86. Marseille: CNRS.
- Ritchie, J.C., Eyles, C.H., Haynes, C.V. (1985): Sediment and Pollen Evidence for an Early to Mid-Holocene Humid Period in the Eastern Sahara. *Nature* 314, 352–355.
- Ritchie, J.C., Haynes, C.V. (1987): Holocene Vegetation Zonation in the Eastern Sahara. *Nature* 330, 645–647.
- Rodrigues, D., Abell, P.I., Kröpelin, S. (im Druck): Seasonality in the Early Holocene Climate of NW Sudan. *Global and Planetary Change, Special Issue „Paleomonsoon Variations and Environmental Change during the Late Quaternary“*.
- Said, R. (1981): The Geological Evolution of the River Nile, 1–151. New York: Springer.
- Sandford, K.S. (1936): Observations on the Distribution of Land and Freshwater Mollusca in the Southern Libyan Desert. *Quat. J. geol. Soc. Lond.* 92, 201–220.
- Schandelmeier, H., Richter, A., Harms, U., Abdel Rahman, E.M. (1990): Lithology and Structure of the Late Proterozoic Jebel Rahib Fold-and-Thrust Belt (NW Sudan). *Berliner geowiss. Abh. (A)* 120.1, 15–30.
- Schuck, W. (1988): Wadi Shaw – Eine Siedlungskammer im Nord-Sudan. *Archäol. Korrespondenzbl.* 18, 143–154.
- Schütt, H. (1986): Der ägyptische Nil und seine Weichtiere. *De Krenkel* 22, 169–183.
- Shaw, W.B.K. (1936): An Expedition in the Southern Libyan Desert. *Geogr. J.* 87, 193–221.
- Sirocko, F., Sarnthein, M., Erlenkeuser, H., Lang, H., Arnold, M., Duplessy, J.C. (1993): Century-scale Events in Monsoonal Climate over the Past 24000 Years. *Nature* 364, 322–324.
- Szabo, B.J., McHugh, W.P., Schaber, G.G., Haynes, C.V., Breed C.S. (1989): Uranium-Series Dated Authigenic Carbonates and Acheulian Sites in Southern Egypt. *Science* 243, 1053–1056.
- Thorweihe, U., Brinkmann, P.J., Heintl, M., Sonntag, C. (1990): Hydrological and Hydrogeological Investigations in the Darfur Area, Western Sudan. *Berliner geowiss. Abh. (A)* 120, 279–326.
- Van Neer, W. (1989): Recent and Fossil Fish from the Sahara and Their Paleohydrological Meaning. *Palaeoecol. Africa* 20, 1–18.
- Van Neer, W., Uerpmann, H.P. (1989): Palaeoecological Significance of Holocene Faunal Remains of the B.O.S.-Missions. *Africa Praehistorica* 2, 307–341.
- Van Zinderen Bakker, E.M. (1967): Upper Pleistocene and Holocene Stratigraphy and Ecology on the Basis of Vegetation Changes in Sub-Saharan Africa, in: Bishop, W.W., Clark, J.D. (eds.): *Background to Evolution in Africa*, 125–147. Chicago: Univ. of Chicago Press.
- Wendorf, F., Hassan, F.A. (1980): Holocene Ecology and Prehistory in the Egyptian Sahara, in: Williams, M.A.J., Faure, H. (eds.): *The Sahara and the Nile*, 407–419. Rotterdam: Balkema.
- Wickens, G.E. (1975): Changes in Climate and Vegetation of the Sudan since 20.000 b.p. *Boissiera* 24, 43–65.
- Wickens, G.E. (1982): Palaeobotanical Speculations and Quaternary Environments in the Sudan, in: Williams, M.A.J., Adamson, D.A. (eds.): *A Land between Two Niles*, 23–50. Rotterdam: Balkema.
- Wilson, R.T. (1978): The ‚Gizzu‘, Winter Grazing in the South Libyan Desert. *J. Arid Environm.* 1, 327–344.