

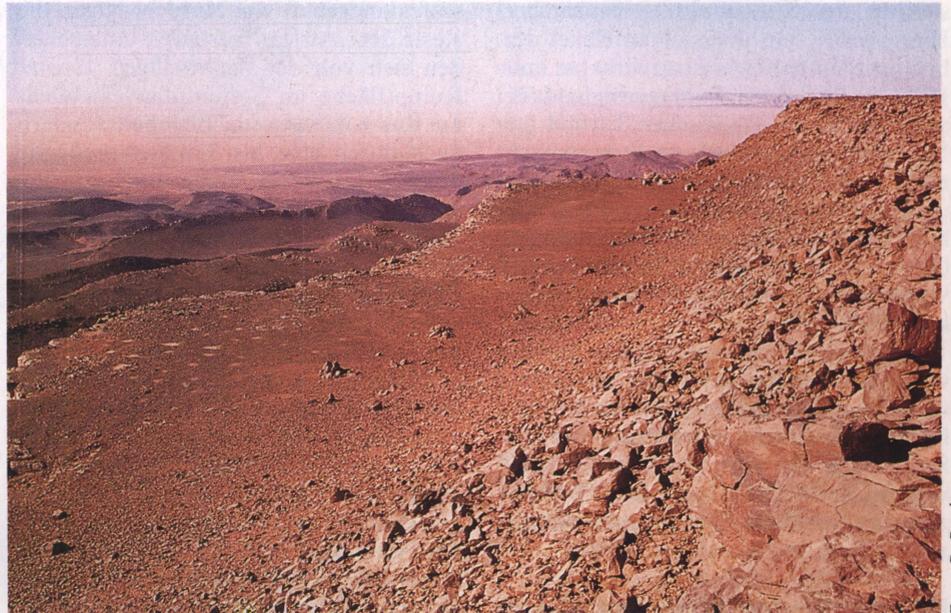
# Reliefgeschichte und Paläoklima des saharischen Ost-Niger

Roland Baumhauer, Detlef Busche, Barbara Sponholz

**Der größte Teil des zentral-saharischen Reliefs ist unter dem Einfluß nicht-arider Klimate gebildet worden. Andererseits gab es im Pleistozän äolisch geprägte aride Phasen, die extremer als heutige gewesen sind. Der Kenntnisstand zur Reliefgeschichte erlaubt es, daraus die Grundzüge der Klimageschichte eines großen Teils der südlich-zentralen Sahara abzuleiten.**

Seit 1977 hat eine Arbeitsgruppe des geographischen Instituts der Universität Würzburg unter der Leitung von H. Hagedorn im Osten der Republik Niger geomorphologisch gearbeitet. Ausgehend von den Arbeiten der Forschungsstation Bardai im Tibestigebirge in den Jahren 1964–1974 (Jäkel 1982) und französischen Vorarbeiten konnte dabei u. a. nachgewiesen werden, daß der größte Teil des Reliefs unter nicht-ariden Klimaten gebildet worden ist, daß es aber im Pleistozän auch Zeiten gegeben hat, in denen die als arid einzustufende Windreliefbildung ausgeprägter als heute gewesen ist. Der erste Teil dieser Aussage wirkt heute fast banal. Es ist aber gerade erst 30 Jahre her, daß nach den damaligen Feldbefunden aus der Serir Tibesti die zentrale Sahara als eine von Klimaschwankungen ausgenommene Kernwüste eingestuft wurde (Meckelein 1959).

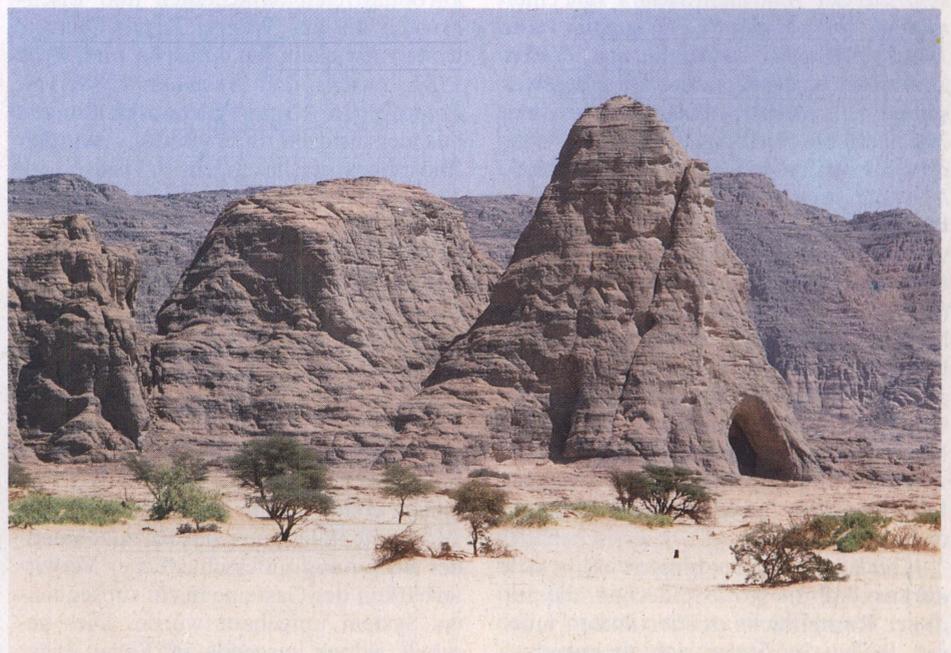
Die Kenntnisse reichen heute aus, mit Hilfe der Reliefgeschichte die Umrisse der Klimageschichte dieses Raumes zu zeichnen, zwar ohne die zeitliche Auflösung oder Kontinuität der Klimainformation, die aus den vor der westafrikanischen Küste gezogenen Tiefseebohrkernen abgeleitet worden ist (u. a. Tiedemann et al. 1989), dafür aber gewichtet, denn im Relief sind nur ausgeprägte Klimazustände oder -änderungen gespeichert. Außerdem ist sie ein Beitrag zur Regionalisierung der Klimageschichte. Gerade die



Fotos: D. Busche

*Foto 1: Bis über 2 km weit ins 300 m tiefere Vorland geglittene große Rutschungsschollen am Westrand des Murzuk-Beckens, Süd-Libyen*

Die obere Scholle liegt fast 100 m unter der Trauf. Auf beiden Niveaus dieselbe Silcrete-Decke des Miozän. Die Rutschungen sind nach den ersten relativ ariden Phase unter erneut sehr feuchtem Klima an der Wende Pliozän/Pleistozän abgeglitten.



*Foto 2: Über 200 m hohe Inselberge aus kambrischem Sandstein am Boden der Stufenfußdepression von Orida am SW-Rand des Djado-Plateaus, überwiegend im Pliozän entstanden.*

Rechts das durch Verwitterung erweiterte Portal einer der zahlreichen Sandsteinkarsthöhlen.

reaktions- und erhaltungsbedingte, generalisierte Klimainformation aus dem Relief dürfte in Zukunft die Korrelation mit den stärksten und damit am ehesten überregional gültigen Signalen aus den in ca. 3000 km Entfernung genommenen Tiefseekernen ermöglichen und zu deren Erklärung beitragen.

Umgekehrt zeichnet sich die Möglichkeit ab, mit den Tiefseedaten das in allen Abtragungsregionen unbefriedigende Zeitgerüst für Ost-Niger zu verbessern. So läßt sich wahrscheinlich der erste bedeutende Umbruch zum Ariden, der sich in der Umgestaltung S-förmiger Hangprofile zum übersteilten Relief der heutigen Stufenhänge ausgewirkt hat, mit Hilfe des frühesten Bohrkernsignals für aride Bedingungen zwischen 3,1 und 2,6 Mio. Jahre annehmen. Daß es danach noch einmal eine bedeutende, wenn auch vielleicht nur kurze Feuchtzeit gegeben hat, zeigt sich in den großen Rutschungen (vgl. Foto 1), die überall in der Sahara vorkommen, deutlicher als in den Bohrkerndaten.

Um einen Eindruck von der Spannweite der Klimaentwicklung zu geben, wird trotz aller unvermeidbaren Vereinfachung die Gesamtentwicklung vom frühen Tertiär bis zum Holozän in ihren wichtigsten Schritten umrissen. Für Einzelheiten der Beweisführung muß auf die zitierte Literatur verwiesen werden.

### Die eozän-oligozäne Entwicklung: Tiefenverwitterung und Continental Terminal

Für den Geomorphologen, der die büdelischen Vorstellungen zur Flächenbildung akzeptiert (u. a. Büdel 1977), ergibt sich allein daraus, daß die faßbare Reliefgeschichte der zentralen Sahara mit einer ausgedehnten Rumpffläche beginnt (u. a. Busche 1983), daß das Klima zu jener Zeit zumindest wechselfeucht-tropisch gewesen ist. Die nahezu vollständige, bis über 300 m in die Tiefe greifende Bleichung dieses Teils der *African Surface* (vgl. Gallet 1971), bei der nahezu alle Nichtquarzbestandteile der Sandsteine abgeführt wurden, zeigt sogar, daß das Klima extrem feuchttropisch gewesen ist. Faure (1966), von dem die umfassende Darstellung der Geologie von Ost-Niger stammt, leitete ein solches Klima aus dem fast ausschließlichen Lösungsaustrag – außer von Eisen – in das südlich angrenzende Meeresgebiet zu jener Zeit ab, die dem weltweit nachgewiesenen eozänen Laterit-„Event“ (u. a. Prasad 1985) zuzuordnen ist.

Der nächste Klimahinweis ergibt sich daraus, daß die Rotlehmdecken, die auf dieser Rumpffläche existiert haben müssen, fehlen. Sie finden sich als korrelierte „siderolithische Fazies“, als Eisenhorizonte, an der Basis des sogenannten *Continental terminal* von Südost-Niger. Die in das frühe Oligozän gestellte starke

Abspülung, die auch Teile der gebleichten Sandsteine erfaßte, muß mit einer starken Degradation der Vegetation verbunden gewesen sein. Arid wurde das Klima jedoch nicht, nach Ausweis fehlender Evaporite im Continental terminal und der sich anschließenden Phase der Silcrete-Bildung. Am ehesten ist der Übergang zu einem wechselfeucht-tropischen Klima anzunehmen.

### Die miozän-pliozäne Entwicklung: Silcrete, Silikatkarst, Stufenbildung

Die heutigen Dachflächen der Schichtstufenlandschaft von Nordost-Niger, die Reste der „African Surface“, unterscheiden sich von der flachwelligen Ténéré-Rumpffläche im Stufenfußniveau nicht nur durch ihre extreme Ebenheit, sondern auch durch eine bis 3 m tief greifende quarzitharte Verkieselung der ansonsten mürben Sandsteine (Busche 1983).

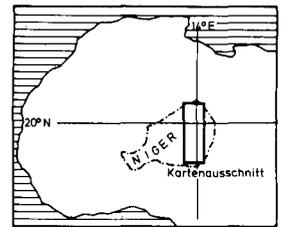
Während bis in die 60er Jahre diese als *Silcrete* bezeichneten Krusten als aride Bildungen angesehen wurden, erscheint es heute sicher, daß es sich um Ausfällungen von Kieselsäure im oberflächennahen Grundwasserbereich, in warm-feuchtem Milieu und bei sehr schlechter Drainage handelt (vgl. Langford-Smith 1978). An die Zeit der oberflächennahen Anreicherung, wobei Trockenzeiten durch hohen Grundwasserstand abgepuffert wurden, muß sich eine deutlich trockenere Phase angeschlossen haben, wahrscheinlich erstmals semi-arid, in der die Aushärtung zum *Silcrete* erfolgte.

Eine Rückkehr zu feuchterem Klima manifestiert sich im Entstehen eines ausgeprägten ober- und unterirdischen Karstformenschatzes, der sich in völlig karbonatfreien Sandsteinen und Eisenkrusten bis zur Wende Tertiär/Quartär weiterentwickelt hat (Busche und Erbe 1987, Busche und Sponholz 1988; vgl. Foto 2). In Karsthöhlenauskleidungen aus der Endzeit ihrer Bildung wurden Phosphoranreicherungen bis zu 30 Gew.% im Bindemittel und auf korrodierten Quarzkörnern eingekieselte Mikroorganismen gefunden. Beides weist auf die Mitwirkung biochemischer Prozesse am Lösungsgeschehen hin, wie sie in vegetationsbestandenen, versumpften Poljen und flachen Lösungsdolinen unter humidem Klima ablaufen konnten.

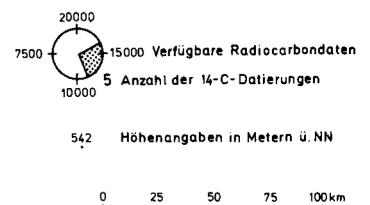
Verbunden mit der Hebung von Hoggar und Tibesti seit ca. 10 Mio. Jahren bildete sich in weniger verkarsteten Gebieten erstmals ein konsequentes Netz von Kastentälern aus, das bei zunehmender Bedeutung unterschiedlicher Verwitterbarkeit der Gesteine in ein subsequentes System umgebaut wurde. Dies geschah jedoch nirgends in Form enger Täler, sondern in breiten Ausraumzonen durch Flächenbildung.

Vor allem dort, wo tonige Gesteine im Untergrund fehlten, bildeten sich am

Rand der Ausraumzonen und in intramontanen Becken getreppte Sandsteinhänge aus. Insbesondere ein ausgedehntes Hauptniveau auf etwa halber Höhe – örtlich von kleinen Inselbergen bestanden und tektonische Strukturen kappend – zeigt, daß bei der weiteren Eintiefung die Petrovarianz wichtiger wurde, die für die chemische Verwitterung notwendige Feuchtigkeit abnahm. Das Relief der Felspedimente, das sich am Ende dieser Entwicklung an den Stufen- und Inselbergfüßen bildete, zeigt, daß Verwitterungsbasisfläche und Abspülungsfläche immer dichter aneinandergerückt waren. Ein Grund für die abnehmende Feuchtigkeit dürfte gewesen sein, daß die Küstenlinien sich gegen ihre heutige Position verschoben und die Kontinentalität der Region zunahm.

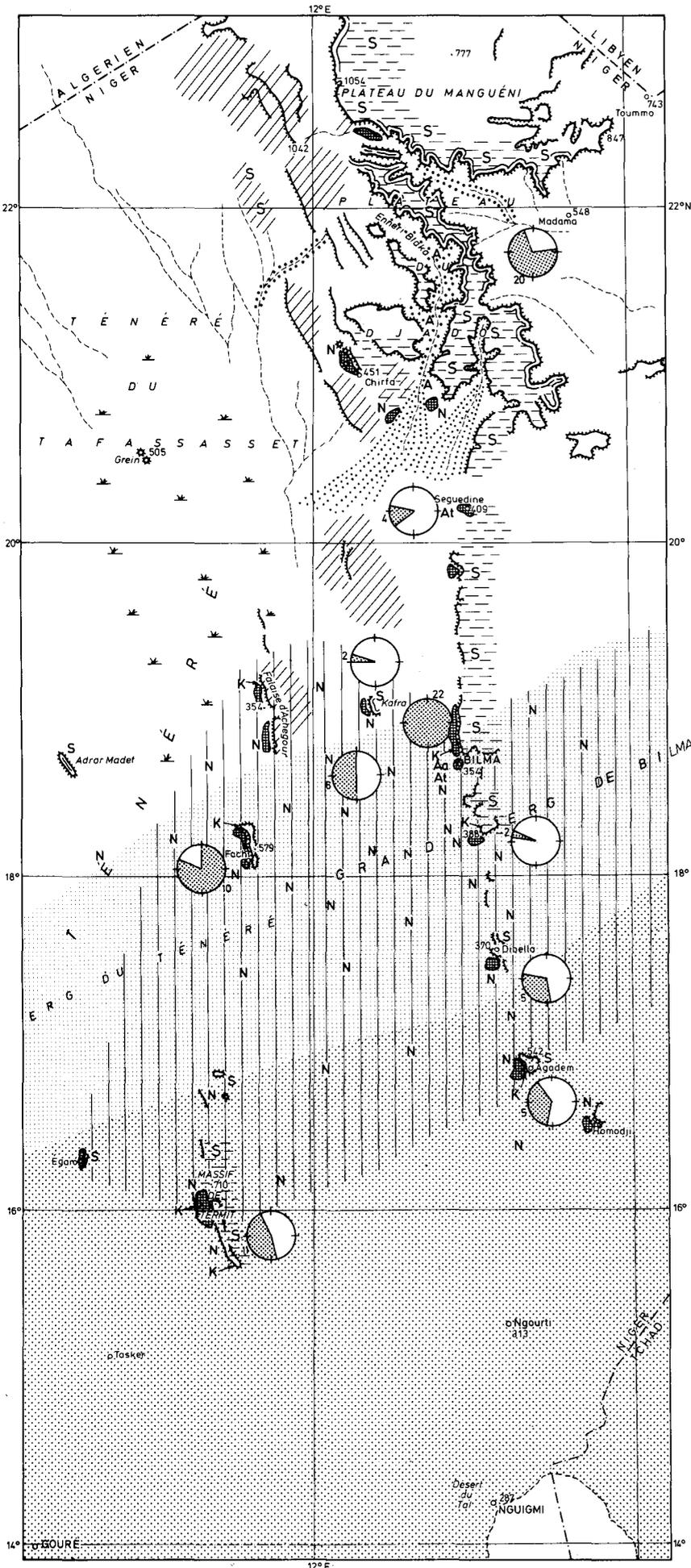


- Schichtstufenhänge
- Schichtstufenhänge mit Rutschungen
- Verkarstete Silcrete-Plateaus
- S** Silcrete
- Inselberge mit Karst
- Regionen vorherrschender Windkorrasion
- K** → Pleistozäne Kliffs (mit Hinweis auf Lokalität)
- Prä-Acheulterrasse und Mittelterrasse
- Stufenfußdepressionen mit Seebildungen im Jungpleistozän und Hotozän
- Prä-acheulzeitliche Schwemmfächer
- Regionen mit interdünaren Seebildungen im Frühholozän und interdünaren See-/Sumpfbildungen im Mittel-/Spätholozän
- Zugehörige Schilfsumpffläche der nördl. Ténéré
- Rezent aktive Dünengebiete
- Rezent fixierte Dünen des "ergancien" und "erg recent"
- Episodisch abkommende Wadis
- N** Neolithische Siedlungsplätze
- At** Siedlungsplätze des Atérien
- A** Siedlungsplätze des Acheul
- Aa** Siedlungsplätze des Altacheul



0 25 50 75 100 km

Abb. 1: Paläo-Geomorphologie von Ost-Niger



Andererseits war die Flächenbildung als Pendant zur Stufen- und Inselbergbildung durch divergierende Verwitterung und Abtragung weiterhin so aktiv, daß über einige zehntausend Quadratkilometer hinweg die „African Surface“ um ein bis mehrere hundert Meter flächenhaft auf das Niveau der heutigen Ténéré-Rumpffläche, die einen kompliziert gebauten Untergrund kappt, tiefergelegt werden konnte. Dabei wurden nur wenige kleine Plateaus ausgespart (vgl. Abb. 1).

Die zunehmende Trockenheit zum Ende des Pliozän zeigt sich darin, daß in den nördlichen Teilen der Ténéré, wie auch in anderen Teilen der Sahara, die Flächenbildung durch die Einschneidung von Kastentälern abgelöst wurde – das *grand creusement des vallées* der französischen Literatur.

Die Niederschläge müssen zu jener Zeit aber noch so reichlich gewesen sein, daß in Gunstgebieten mit Zuschußwasser von benachbarten Hochgebieten das Äquivalent zu den Bergfußniederungen gebildet werden konnte, die u. a. Thorbecke (1951) aus Kamerun beschrieben hat. Diese Stufenfußdepressionen, mehrere Kilometer lang, wenige Kilometer breit und bis 40 m unter das Niveau der Ténéré-Fläche eingesenkt, sind allerdings ausnahmslos ohne oberflächlichen Abfluß.

Dabei handelt es sich, trotz ihrer Lage in einem heute hyperariden Raum, nicht um Deflations- oder Korrasionsformen (Busche und Erbe 1987), belegt durch bis über 300 m hohe Inselberge auf dem Boden einiger Depressionen im besonders verkarsteten kambrischen Sandstein. Ihre Füße zeigen das Normalbild zerschnittener Pedimente, die Hänge unterhalb des Beckenrandniveaus unterscheiden sich kaum von den höher aufragenden; die Verkarstung dieser Inselberge reicht in begehbaren Höhlen bis unter das Depressionstiefste. Alle Indizien sprechen dafür, daß die Stufenfußdepressionen eine Spätform der Karstreliefbildung sind, das Klima zu ihrer Bildungszeit also noch recht niederschlagsreich gewesen sein muß.

#### Die Entwicklung bis zum Jungpleistozän: Rutschungen, äolisches Relief, die Prä-Acheul-Terrasse

Wie in der Einleitung erwähnt, findet sich der erste Hinweis auf arides Klima in der Umgestaltung der Hangprofile homolithischer, allein aus Sandstein bestehender Stufen, insbesondere in der Ausbildung wandförmiger Oberhänge. Diese sind in der Folgezeit so stabil geblieben, daß Tafoni in sie hineingewittert sind.

Dieser wahrscheinlich durch Starkregen geprägten semiariden Phase folgt erneut ein humides Klima. Seine Spuren sind überall dort, wo übersteilte heteroli-

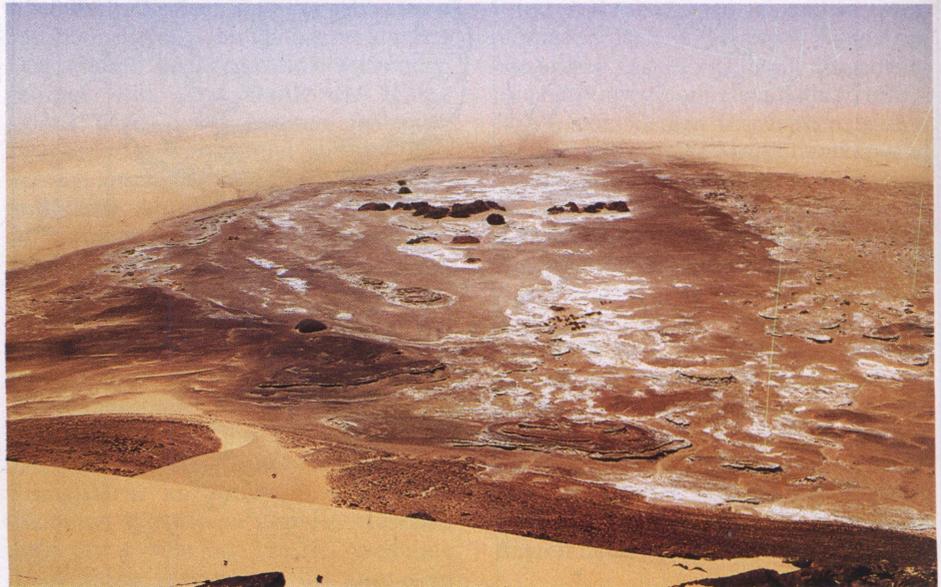
thische Stufen bestanden, in häufig kilometerlangen Schollenrutschungen oder breiartigen Rutschungen bewahrt worden (u. a. *Grunert* 1983; vgl. *Foto 1*). Das Abgleiten erfolgte in tief durchfeuchteten schluffig-tonigen Schichten, die dabei völlig verwürgt wurden. Die dafür notwendige Feuchtigkeit muß ihren Ursprung in reichlichen Niederschlägen an Ort und Stelle gehabt haben, denn auch die Hänge kleiner Stufenauslieger oder der kleinen Plateaus der Ténéré – ohne Anschluß an einen wasserzuführenden Grundwasserstrom – sind selbst bei geringen absoluten Höhenunterschieden weit ins Vorland geglitten (vgl. *Abb. 1*).

Die zeitliche Zuordnung der älteren pleistozänen Relief- und Klimaentwicklung liegt noch sehr im Dunkeln. Gesichert ist, daß die Rutschungen unter semiaridem Klima – nach Ausweis der Wadiformen – zerschnitten worden sind, daß regional in versteilten Ausraumarealen eine zweite, weniger bedeutende Rutschungsphase stattfand und daß es in der Folgezeit mehrere Perioden intensiver äolischer Formung gegeben hat. Deren Verbreitungsmuster wird durch die Beeinflussung des Passat durch das Großrelief, vor allem durch das Tibestigebirge, bestimmt.

Auffällig ist, daß die Ausrichtung verschieden alter Korrasionsformen immer nahezu gleich ist, daß sich also die Passatwindrichtung im Pleistozän und Holozän nicht geändert hat, dagegen aber die Intensität in den Zeiten, in denen der Passat überhaupt geweht hat, stark geschwankt hat und gegenüber heute ein- oder mehrmals beträchtlich höher war.

Viele Korrasionskörper, aus fluvial geformten Sandsteinplateaus modelliert, können sich mehrere Kilometer weit in der Windrichtung erstrecken und erreichen im nordwestlichen Djado (vgl. *Abb. 1*) fast die Ausmaße des Borkowindreliefs südlich des Tibesti (*Hagedorn* 1971). Die Leistungsfähigkeit der Perioden extremen Windschliffs zeigen sich dort im Nebeneinander eines fluvial sehr stark zerschnittenen Plateaus, das in einer Windschattenposition erhalten geblieben ist, und nordwestlich davon dessen vollständiger Umgestaltung zu Windrelief-großformen.

Die heutigen Windschliffkleinformen in harten Gesteinen, v. a. im Silcrete, erreichen nur Millimeter- bis Zentimeterlängen, während patinierte zentimeterbreite und -tiefe Auskehlungen einige Dezimeter lang sein können. Im Süden des Massif de Termit, schon an der Grenze zum Sahel, wird heute löbartiger Staub auf solchen Formen abgelagert. Das heutige hyperaride Klima kann also nicht als Modell für jene Zeiten starker Passatwirkung genommen werden, schon allein deshalb nicht, weil heute die regelmäßige fluviale Aktivität fehlt, die in jenen Zeiten



*Foto 3: Vom Passat stark ausgeblasene, früh-holozäne Diatomite (weiß) in der oberflächlich abflußlosen Stufenfußdepression Dongonboulo, einem Nebenbecken der über 30 km langen Depression von Fachi*

Im Hintergrund (W) die Sandfläche der alten Dünen des Erg du Ténéré. Den Blick aus der Gegenrichtung zeigen die Blockdiagramme von *Abb. 2*.

Schleifmaterial in großer Menge zur Verfügung gestellt haben muß. Höchstwahrscheinlich gehört zum Windkorrasionsrelief also ein semi-arides Klima mit jahreszeitlich sehr starker Passataktivität.

Semiaridität, verbunden mit starker Windwirkung, muß auch für die Zeiten der Dünen- und Ergbildung angenommen werden, deren Mehrphasigkeit, nicht jedoch deren zeitliche Stellung sicher ist. Fossile Böden in Dünen bieten Gliederungsansätze. Im Süden (z. B. im Termit) zeigen gleichmäßig rotgefärbte mächtige Dünenrampen einen vermutlich jahreszeitlichen Wechsel von Sandaufwehung, glacis-typischer Verschwemmung zusammen mit Hangschutt und chemischer Verwitterung.

Für Zeiten höherer Niederschläge auch nach der Rutschungszeit spricht die ältere von zwei Flußterrassen, die u. a. emtlang des Enneri Blaka im Djado-Plateau und in einem zugehörigen riesigen Schwemmfächer über 300 km weit verfolgbar ist. In dieselbe Zeit gehören wahrscheinlich präacheulzeitliche Seesedimente in der Vorlandsenke der Stufe von Bilma (vgl. *Abb. 1*). Der Schwemmfächer überdeckt älteres Windrelief.

Der Terrassenkörper besteht selbst im Schwemmfächerbereich noch aus mehr als faustgroßen Schottern, meist aus quarzitischem gebundenem Sandstein, wie sie rezent in keinem Wadi der Region vorkommen. In der Endzeit der Akkumulation wurden Eisenkrusten ausgefällt, die denen der Glacis des sahelischen Westafrika ähneln (*Michel* 1977). Die humide Periode, zu der diese Terrasse gehört, läßt sich ebenso wie bei der jüngeren Mittelterrasse (s. u.) zweiteilen. Auf die Akkumulationsphase folgte eine Ero-

sionsphase, in der die Sedimentzufuhr offensichtlich stark nachgelassen hatte, das Flußbett des Blaka aber auf seine ganze Länge mehrere Meter tief ins Anstehende eingeschnitten wurde und die ausgeräumten Sedimente noch über 300 km hinaus nach Süden in die Ténéré transportiert und dabei weiter zerkleinert worden sein müssen. Hier liegt vermutlich die Verbindung zur Anlieferung des Sandes für die Ausbildung des saharisch/sahelischen Altdünengürtels, des *erg ancien*.

Aus der Lage altpaläolithischer Artefakte auf der Terrasse läßt sich ableiten, daß die Einschnidung bereits präacheulzeitlich abgeschlossen war und damit wohl über 100 000 Jahre zurückliegt. Möglicherweise ist die Akkumulation zeitgleich mit einer ausgedehnten Seenphase im Süd-Fezzan einhergegangen (Wadi Shati, Strandwälle aus *Cardium-Schill*, 125 000 J.; *Petit-Maire et al.* 1980). Im Uferbereich dieses Sees wurden zahlreiche Acheulwerkzeuge gefunden.

#### Die jungpleistozäne Entwicklung:

##### Erg ancien, Erg récent, Mittelterrasse

Der auf die Zeit der Terrassenbildung folgende Formungs- und Klimawandel läßt sich im Gebiet der präacheulzeitlichen Seesedimente von Bilma fassen (*Baumhauer* 1986). Nach einer Phase starker Auswehung und Korrasion wurden Dünenande abgelagert (*erg ancien*, nach *franz.* eine extrem aride Periode; u. a. *Boquier* und *Gavaud* 1964). In ihr wurde vor ca. 100 000 Jahren die äußerste südl. Verbreitungsgrenze saharischer Dünen erreicht, um die heutige 800 mm-Isolyete. Die heutige Südgrenze liegt bei ca. 80 mm Jahresniederschlag.

Vergleungserscheinungen und Wurzelröhren im Hangenden der äolischen Sande und eine feinsandig-schluffige Sedimentüberlagerung sprechen für erneut feuchteres Klima nach der Bildung des alten Erg. Eingeschaltete Feinkieslagen weisen auf die fluviale Einschwemmung von der Schichtstufe von Bilma. Spuren einer weiter nach Süden reichenden fluvialen Aktivität wurden nicht gefunden, so daß Seebildungen in den Stufenvorlandsenken angenommen werden können.

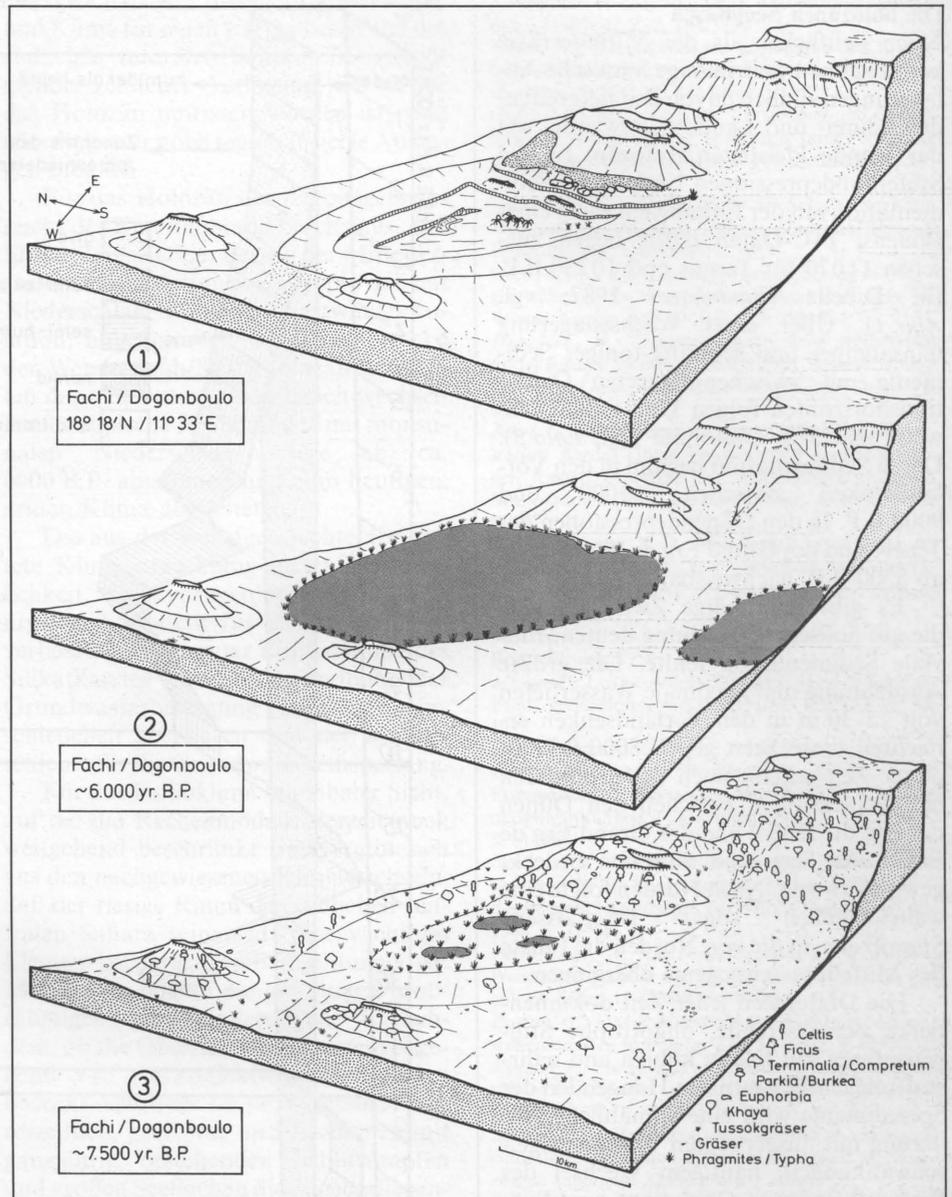
Zum Hangenden hin zunehmend verkalkte Wurzelröhren, Karbonatausfällungen (die teilweise mächtige Krusten bilden) und Oxidationshorizonte zeigen den Übergang von einer freien Wasserfläche in ein Sumpfgebiet mit stark schwankendem Wasserspiegel, jedoch ohne Hinweise auf jahreszeitliche Austrocknung. Für diese hygrisch nicht eindeutig zu charakterisierende Periode gibt es ein  $^{14}\text{C}$ -Datum von 33000 B.P.

Südlich 16 Grad Nord entstanden auf den Dünen des *erg ancien* tonreiche, stark rubefizierte Böden (u. a. *Völkel* 1988), wie sie heute nur in Gebieten mit 500 mm höherem Jahresniederschlag gefunden werden (*Grunert* 1988).

An der Stufe von Bilma, im Termit und an einigen anderen kleineren Plateaus finden sich Spuren einer Seephase, die zeitlich noch nicht einzuordnen ist. Sie mag den prä-acheulzeitlichen Seesedimenten oder der Feuchtphase um 33000 B.P. zuzuordnen sein. Trotz dieser Unsicherheit wird sie hier aufgeführt, weil durch sie eine Zeit sehr starker Winde in einer Feuchtzeit dokumentiert wird, und weil diese Winde aus südlichen Richtungen gekommen sind. Belegt wird die Windstärke durch Klifflinien (vgl. *Abb. 1*), plattige Brandungsgerölle mit z. T. über 10 cm Durchmesser, und an der Schichtstufe von Achegour durch einen Schotterstrandwall sowie eine Brandungshöhle im Sandstein.

Feldbefunde aus den Stufenfußdepressionen von Fachi und Bilma lassen auf das Ende der jungpleistozänen See- und Sumpfphase um 27000 B.P. schließen. Danach weisen die Profile Deflations- und Korrasionserscheinungen auf. Erst gegen 23000 B.P. in Bilma und um 21000 B.P. in Fachi zeigt sich in einem tonigen, stark humosen Sediment die Rückkehr zu feuchterem Klima.

Zwischen den genannten  $^{14}\text{C}$ -Daten und den nächstjüngeren verfügbaren Daten klafft im Norden des Arbeitsgebiets eine Lücke von 5000, im Süden bis nach Termit sogar eine von 10000 Jahren. Nach der Deutung von *Servant* (1973) entspricht dieser Zeitraum einer zweiten extremen Trockenperiode im Jungpleistozän, dem *Kanemien* (entspricht dem *Ogoliën* von *Michel* 1973). In ihr soll zwischen 20000 und 12000 B.P. ein zweiter Dünen-



*Abb. 2: Rekonstruktion von Seebildungen am Beispiel der ostnigrischen Stufenvorlandsenke von Fachi/Dogonboulou für zwei holozäne Zeitscheiben*

<sup>1</sup> Die Stufenvorlandsenke heute

<sup>2</sup> Die Stufenvorlandsenke im Mittelholozän mit einem etwa 15 m tiefen perennierenden Südwassersee

<sup>3</sup> Die Stufenvorlandsenke an der Wende Früh-/Mittelholozän mit seichten alkalischen Wässern in sumpfigem Milieu, oszillierender Wasserführung und zyklischer Austrocknung (Vegetationsrekonstruktion nach Holzbestimmungen)

Quelle: Neumann 1988

vorstoß, der *erg récent*, der bis weit in den Sahel hineinging, liegen. Dabei wurden die Dünen des älteren Erg bis etwa zur heutigen 500 mm-Isohyete überlagert (*Völkel* 1988).

Nach Ausweis von  $^{14}\text{C}$ -Daten beginnt allerdings in demselben Zeitraum in den Plateaus von Nordost-Niger die Akkumulation der überall in der Sahara nachgewiesenen Mittelterrasse. Ebenso wie die nächstältere Prä-Acheulterrasse ist sie in ihrer Ausprägung einmalig und wohl ebenfalls einer Feuchtzeit zuzuordnen. Völlig anders als die ältere Terrasse besteht sie überwiegend aus schluffig-sandigem Feinmaterial, das zumindest teilweise aus der Abspülung von Böden stammt. Wie überall in der Sahara wurde der Terrassenkörper nicht als Hochflut-

lehm eines einzigen, katastrophalen Hochwassers abgelagert, sondern kontinuierlich zwischen 17000 und 7000 B.P. in Haupt- und Nebentälern aufgebaut. Außerdem besteht Anschluss an eine zeitgleich gebildete Hangschuttdecke.

Auch wenn das Klima während der Mittelterrasse sedimentation im einzelnen anders als zur Zeit der Prä-Acheulterrasse gewesen ist, muß man dennoch auch für einen längeren Zeitabschnitt zwischen 20000 und 12000 mit einem wesentlich feuchteren Klima rechnen, als dies bisher angenommen worden ist, bzw. für eine viel kürzere Dauer der Trockenphase des Kanemien/Ogoliën. Diese Interpretation deckt sich mit jüngeren Ergebnissen aus dem Tschadseegebiet (u. a. *Durand et al.* 1987).

### Die holozänen Seephassen

Noch deutlicher als die Mittelterrasse kennzeichnen weiträumige limnische Ablagerungen südlich davon den tiefgreifenden Klima- und Landschaftswandel seit der Wende Pleistozän/Holozän. In den Stufenfußdepressionen beginnt die Sedimentation mit der Einschwemmung eines Bodens.  $^{14}\text{C}$ -Daten dafür liegen zwischen 11070 für Termit und 10230 B.P. für Dibella (Baumhauer 1987; vgl. Abb. 1). Über einer Wechsellagerung feinsandiger und schluffig-toniger Sedimente mit zwischengelagerten Oxidationshorizonten folgen konkordant teilweise mächtige Diatomite (vgl. Foto 3). Deren Sedimentation begann in den Vorlandsenken zwischen 10000 und 9000 B.P. In den Düsendepressionen der Ténéré und des Grand Erg de Bilma ist sie ab 8500 B.P. nachweisbar.

Es gibt feinsandige Zwischenlagen, die auf äolische Einwehung deuten. Fluviale Sedimentation fehlte. Die größte Ausdehnung und maximale Wassertiefen von 25–30 m in den Vorlandsenken erreichten diese Seen gegen 8000 B.P. In dieser Zeit scheint auch der größte Teil der Depressionen zwischen den Dünen des Erg du Ténéré und des Grand Erg de Bilma mit Seen und Sümpfen bedeckt gewesen zu sein. Nach Norden folgte eine wahrscheinlich sogar geschlossene Sumpfbzone, in die von Norden die Flüsse des Mittelterrassensystems übergingen.

Die Diatomeen jener Zeit dokumentieren perennierende, oligotrophe Stillwasserseen mit relativ kühlen und nährstoffreichen Wässern. Im Hangenden der Seesedimente wird eine allmähliche Änderung mit ausgeprägten Wasserspiegelschwankungen, häufigem Wechsel des Wasserchemismus, Oxidations- und Evaporithorizonten faßbar. Für Fachi (vgl. Abb. 1 und 2) deuten Makroreste sudanischer Holzarten, die ein  $^{14}\text{C}$ -Alter von 7000–7500 B.P. ergaben, auf ein semihumides Klima der Region (Neumann 1988).

Offenbar erfolgte ab 7500 B.P. ein Klimaumschwung, in dessen Verlauf die Seen zu seichten, alkalischen, sumpfigen Gewässern mit stark schwankendem Wasserspiegel wurden, während die außerhalb der Stufenfußdepressionen liegenden Seen austrockneten. Gegen 6500 B.P. setzte in den Vorlandsenken südlich 20 Grad N eine erneute Seephase mit Diatomitbildung ein, deren Spiegelhöhen jedoch die alte Höhe nicht mehr erreichten. Die Diatomeen belegen regional unterschiedliche Wasserqualitäten: oligotrophe Süßwässer mit Wassertiefen bis 20 m in Bilma und Fachi (vgl. Abb. 2), brackige und stark eutrophe Wässer in Dibella; außerhalb der Vorsenken kam es fast nur noch zur Bildung von Sümpfen.

Nördlich von 20 Grad verlief die Entwicklung anders. Eine Bohrung in der

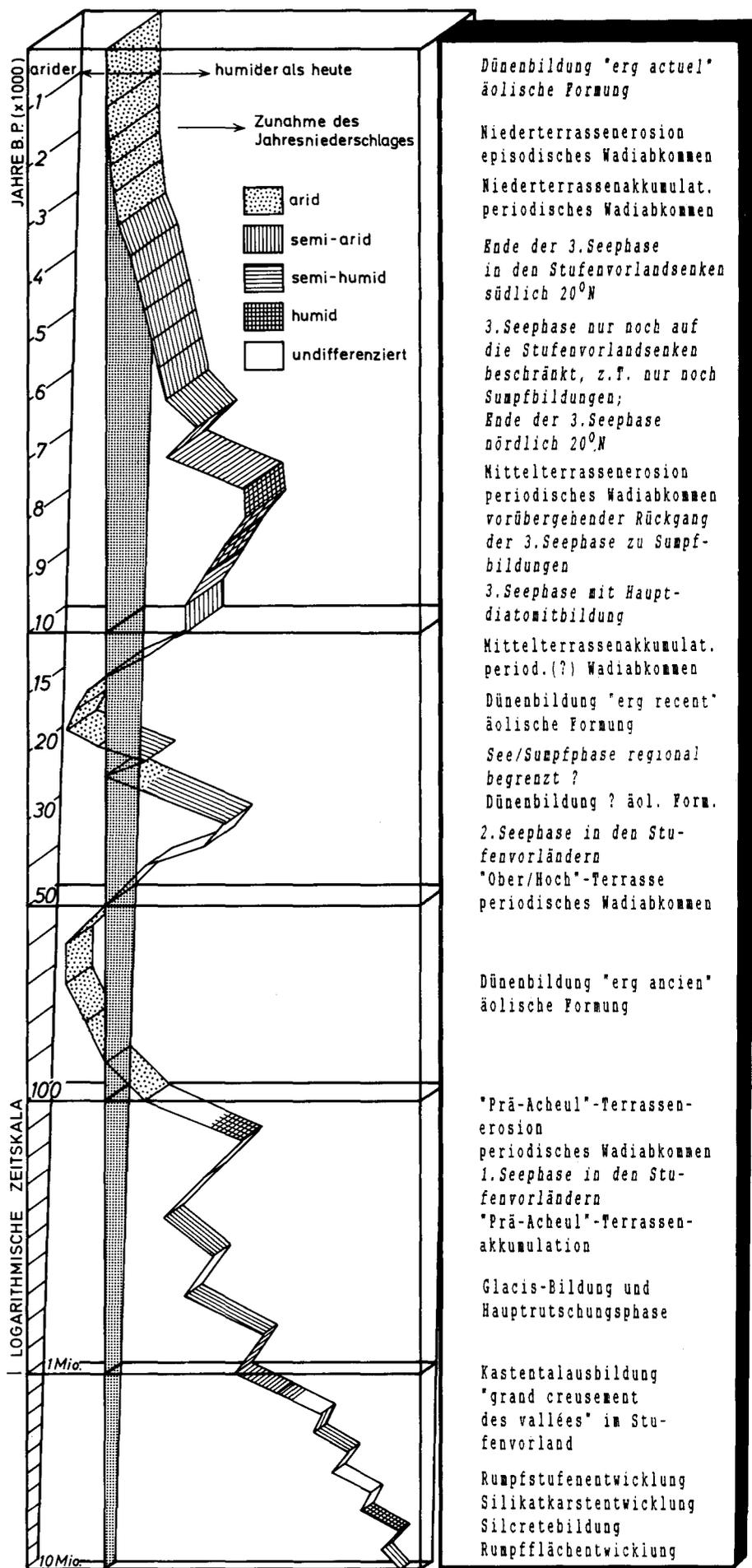


Abb. 3: Klimaentwicklung

Depression von Emi Bao am Nordende der Stufe von Bilma (vgl. *Abb. 1*) zeigt die Entwicklung von einem austrocknenden Süßwassersee zu einer Sebkhah (*Baumhauer* und *Schulz* 1984). Dabei endete die limnische Phase schon um 6850 B.P., etwa 1500 Jahre früher als im Kawar, wo die Diatomitbildung erst um 5070 zu Ende war und sich dann ein weiträumiges Sumpfbereich ausbildete, in das bei zunehmender arider werdenden Klimaverhältnissen akkumuliert wurde. Vor etwa 3000 Jahren begann dann die Deflation und Korrasion der Seeablagerungen. Nördlich Bilma sind durch austretende Grundwasser Reste der holozänen Seen bis in unsere Zeit überkommen.

Da beide Regionen nur 150 km voneinander entfernt sind, ist es fraglich, ob ausschließlich klimatische Ursachen für die differenzierte Entwicklung verantwortlich sind. Anzunehmen ist der unterschiedliche Anstieg regionaler Grundwasserkörper, womöglich mit unterschiedlicher Reaktionszeit auf eine vorausgegangene humide Phase.

Nach der Auffüllung lief das Grundwasser in die Stufenvorlandsenken aus, wobei aber durchaus bereits ein Klimaumschwung zu arideren klimatischen Verhältnissen erfolgt sein konnte. Das bedeutet, daß die Grundwasserseen der Stufenrandsenken dann relativ unabhängig von kurzfristigen Klimaänderungen reagierten. Damit werden die holozänen Seebildungen und Spiegelschwankungen zu sehr unsicheren quantitativen Klimazeugen. Neben klimatisch bedingten führten auch differenzierte hydrologische Einflüsse regional zu Seebildungen, während in der Nachbarregion gleichzeitig Seen verlandeten.

Die Niederschläge waren sicher wesentlich höher als heute. Dies ergibt sich aus den bestimmten Diatomeenfloren, die perennierende Süßwasserseen belegen, aus fluvialer Sedimentation oder auch aus der Zerschneidung der Mittelterrasse.

Ein deutlicher Gegensatz ergibt sich zu den limnischen Bildungen in den Dünen-Depressionen beispielsweise des Großen Erg von Bilma. Im Gegensatz zu *Rognon* (1980), der derartige Seebildungen als einen Typus der „nichtklimatischen Reaktion“ ansprach, haben sich in Ost-Niger gerade diese Seen schnell reagierend auf die regionale Niederschlags-spende eingestellt, mit einer nur kurzfristigen Zwischenspeicherung in den Sandkörnern.

## Fazit

Bei fast allen Zeitabschnitten, die vorgestellt worden sind, ist eine weitergehende zeitliche und damit klimageschichtliche Auflösung möglich (vgl. *Abb. 3*). Reisen in angrenzenden Gebieten bestätigen bei dem hier gegebenen Generalisierungsgrad

eine gleichartige Entwicklung von Relief und Klima für einen viel größeren Teil der südlichen zentralen Sahara. Bei zunehmender zeitlicher Auflösung, wie sie für das Holozän umrissen worden ist, sind allerdings nur noch regionalisierte Aussagen möglich.

Für das Holozän des Arbeitsgebietes reicht der Kenntnisstand bereits aus, daß für die Zeit seit dem Beginn der Mittelterrasseakkumulation ein Nordpluvial, mit Niederschlägen aus der Westwindzirkulation, angenommen werden kann. Ab der Wende Früh/Mittelholozän herrschten dagegen zuerst gerade noch wechselhaft-tropische Bedingungen mit monsonalen Niederschlägen, die ab ca. 6000 B.P. abnahmen und zum heutigen, ariden Klima überleiteten.

Die aus der Reliefgeschichte abgeleitete Klimaentwicklung bietet die Möglichkeit, die hydrogeologischen Kenntnisse und Modelle für diesen Raum zu verbessern, sei es unter Einbeziehung des Silikatkarstes für die Beschreibung der Grundwasserbewegung oder der verschiedenen Seephasen und der Flußgeschichte für die Grundwassereinspeisung.

Für das Paläoklima in globaler Sicht, auf die die Rechenmodelle derzeit noch weitgehend beschränkt sind, ergibt sich aus den nachgewiesenen Klimawechseln, daß der riesige Raum der südlichen zentralen Sahara seinerseits ein wichtiges Element bei derartigen Betrachtungen ist. Man denke nur an die gewaltigen großräumigen Albedoänderungen, je nachdem, ob die Oberfläche wie heute weitgehend von starkreflektierenden Sanden bedeckt war, oder ob sie, zumindest jahreszeitlich, grün war und zusammen mit ganzjährig bestehenden Schilfsümpfen und großen Seeflächen die darüberliegende Atmosphäre modifizierten. ●

## Literatur

- Baumhauer, R.*: Zur jungquartären Seentwicklung im Bereich der Stufe von Bilma. Würzb. Geogr. Arb. 65, 1988.  
 Ders.: Akkumulationen im Bereich der Stufen von Zoo Baba und Dibella (NE-Niger). Palaeoecol. of Africa 18 (1987), S. 167–177.  
*Baumhauer, R.*, und *E. Schulz*: The holocene lake of Séguédine, Kaouar, NE-Niger. Palaeoecol. of Africa 16 (1984), S. 282–290.  
*Boquier, J.*, und *M. Gavaud*: Etude pédologique du Niger oriental. Dakar 1964 (multigr.).  
*Büdel, J.*: Klimageomorphologie. Berlin, Stuttgart 1977.  
*Busche, D.*: Die geomorphologische Entwicklung des westlichen Murzuk-Beckens, des Djado-Plateaus und des nördlichen Kaouar. Relief – Boden – Paläoklima. In Vorber.  
*Busche D.*, und *W. Erbe*: Silicate karst landforms of the southern Sahara (north-eastern Niger and southern Libya). Z. Geomorph. N.F. Suppl. 64 (1987), S. 55–72.  
*Busche, D.*, und *B. Sponholz*: Karsterscheinungen in nichtkarbonatischen Gesteinen der Rep. Niger. In: Würzb. Geogr. Arb. 69, 1988, S. 9–44.  
*Durand, A.*, *J. C. Fontes*, *F. Gasse*, *M. Icole* und *J. Lang*: Nord-ouest du lac Tchad: Manga et Kadzell. Incidence des milieux de dépôts sur le cadre géomor-

phologique et chronologique. Géomorphodynamique 2 (1987) H. 2, S. 144.

*Faure, H.*: Reconnaissance géologique des formations sédimentaires postpaléozoïques du Niger oriental. Mém. B.R.G.M. 47, 1966.

*Gellert, J.*: Das System der Entstehung und Gestaltung der Rumpfflächen, Inselberge samt Pedimente und Rumpftreppen in Afrika. Petermanns Mitt. 115 (1971), S. 173–182.

*Grunert, J.*: Geomorphologie der Schichtstufen am Westrand des Murzuk-Beckens (Zentrale Sahara). Relief-Boden-Paläoklima 2, 1983.

Ders.: Klima- und Landschaftsentwicklung in Ostniger während des Jungpleistozäns und Holozäns. In: Würzb. Geogr. Arb. 69, 1988, S. 289–304.

*Hagedorn, H.*: Untersuchungen über Relieftypen arider Räume an Beispielen aus dem Tibesti-Gebirge und seiner Umgebung. Z. Geomorph. N.F. Suppl. 11, 1971.

*Jäkel, D.* (1982): Verzeichnis der aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti erschienenen großmaßstäbigen Karten, Aufsätze (A), Mitteilungen (M) und Monographien (Mo). In: Berl. Geogr. Abh. 32 1982, S. 167–176.

*Langford-Smith, T.*: A select review of silcrete research in Australia. In: Ch. 1: Silcrete in Australia (T. Langford-Smith, Hrsg.). Univ. of New England, Austr. 1978, S. 1–12.

*Meckelein, W.*: Forschungen in der zentralen Sahara. Braunschweig 1959.

*Michel, P.*: Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Mém. O.R.S.T.O.M. 63, 1973.

Ders.: Geomorphologische Forschungen in Süd- und Zentral-Mauretanien. Probleme der Lateritmäntel, Eisenpanzer, Kalkkrusten; der Einfluß von Klimaschwankungen. Geomethodica 2 (1977), S. 81–108.

*Neumann, K.*: Die Bedeutung von Holzkohleuntersuchungen für die Vegetationsgeschichte der Sahara – das Beispiel Fachi/Niger. In: Würzb. Geogr. Arb. 69, 1988, S. 71–86.

*Petit-Maire, N.*, *G. Delibrias*, und *C. A. Gauen*: Pleistocene lakes in the Shati area, Fezzan. Palaeoecol. of Africa 12 (1980), S. 289–295.

*Prasad, G.*: Das früh-tertiäre Bauxit-Ereignis. Geowissenschaften in unserer Zeit 3 (1985), S. 81–86.

*Rognon, P.*: Pluvial and arid phases in the Sahara: the role of nonclimatic factors. Palaeoecol. of Africa 12 (1980), 45–62.

*Servant, M.*: Séquences continentales et variations climatiques: évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. Thèse Univ. Paris 1973.

*Thorbecke, F.*: Im Hochland von Mittel-Kamerun. Teil 4, Hälfte 2. Phys. Geographie des Ost-Mbanlands. Univ. Hamburg. Abhandl. aus dem Gebiet der Auslandskunde, 1951.

*Tiedemann, R.*, *M. Sarnheim*, und *R. Stein*: Climatic changes in the Western Sahara: aeolo-marine sediment record of the 1st 8 million years (ODP-sites 657–661). In: *Ruddima, Sarnheim* et al. (Hrsg.): ODP-Proceedings Vol. 108 B, 1989 (im Druck).

*Völkel, J.*: Zum jungquartären Klimawandel im saharischen und sahelischen Ost-Niger aus bodenkundlicher Sicht. In: Würzb. Geogr. Arb. 69 1988, S. 255–276.

## Autoren

**Dr. Roland Baumhauer**, geb. 1956.  
Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte:  
Trockengebietsmorphologie, Paläolimnologie.

**Prof. Dr. Detlef Busche**, geb. 1942.  
Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte:  
Trockengebietsmorphologie, Paläoklimatologie.

**Dr. Barbara Sponholz**, geb. 1960.  
Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte:  
Trockengebietsmorphologie, Silikatkarstforschung.

Geographisches Institut der Universität Würzburg, Am Hubland, 8700 Würzburg.