

Karstverfüllungen in Ostniger

Barbara SPONHOLZ, Würzburg

Zusammenfassung

Karstverfüllungen in Ostniger

Die Karstdepressionen auf den Dachflächen der Schichtstufen in Sahara und Sahel sind im allgemeinen von allochthonen quartären Lockermaterialien verfüllt. Die tieferen Verfüllungsschichten zeigen eine von Norden nach Süden zunehmende Überprägung durch Verwitterungs- und Bodenbildungsprozesse. Die obersten ca. 10 cm der Verfüllungen sind dagegen im ganzen Untersuchungsgebiet relativ uniform ausgebildet. Sie repräsentieren die äolischen Ablagerungen seit der mittelholozänen Aridisierung. Drei Verfüllungsprofile (Seggedim, Termit-Dougoulé und Koutous) werden vorgestellt und hinsichtlich ihrer paläoklimatischen Aussagekraft überprüft.

Abstract

Karst fillings in eastern Niger

Many karst depressions on the plateaus in the Sahara and Sahel are filled with unconsolidated allochthonous deposits of Quaternary age. In a North-South transect the profiles taken in these deposits show increasing transformation by weathering/pedogenesis processes in their deeper parts. In contrary, the upper 10 cm of the fillings are uniform in the whole investigated area. They represent the aeolian dust deposition since the mid-Holocene aridification. Three profiles (Seggedim, Termit, Koutous) are presented and their palaeoclimatological interpretation is discussed.

Résumé

Remplissages karstiques du Niger oriental

En général, les dépressions karstiques sur les plateaux des cuestas sahariennes et sahéliennes sont remplies des sédiments allochtones Quaternaires. Les parties inférieures des coupes prélevées sont caractérisées par une altération devenant plus intense du Nord au Sud. Par contre, les parties supérieures (10 cm d'épaisseur) sont uniforme dans toute la région étudiée. Celles-ci représentent l'aridification depuis l'Holocène moyen. Trois coupes (Seggedim, Termit-Dougoulé, Koutous) sont présentées et leur interprétation paléoclimatologique est discutée.

Einführung

Weite Bereiche der Sandsteinmassive Ostnigers zeigen intensive Verkarstung. Für die hier behandelte Fragestellung sind vor allem die Dolinen und Uvalas auf den

Dachflächen der Schichtstufen von Interesse. Sie fungieren seit Abtragung der ursprünglich vorhandenen Boden- und Verwitterungsdecke als Sedimentfallen. Die Verbreitung verschiedener Verfüllungstypen wird im folgenden vorgestellt und auf ihre morphogenetische und paläoklimatologische Aussagekraft hin überprüft.

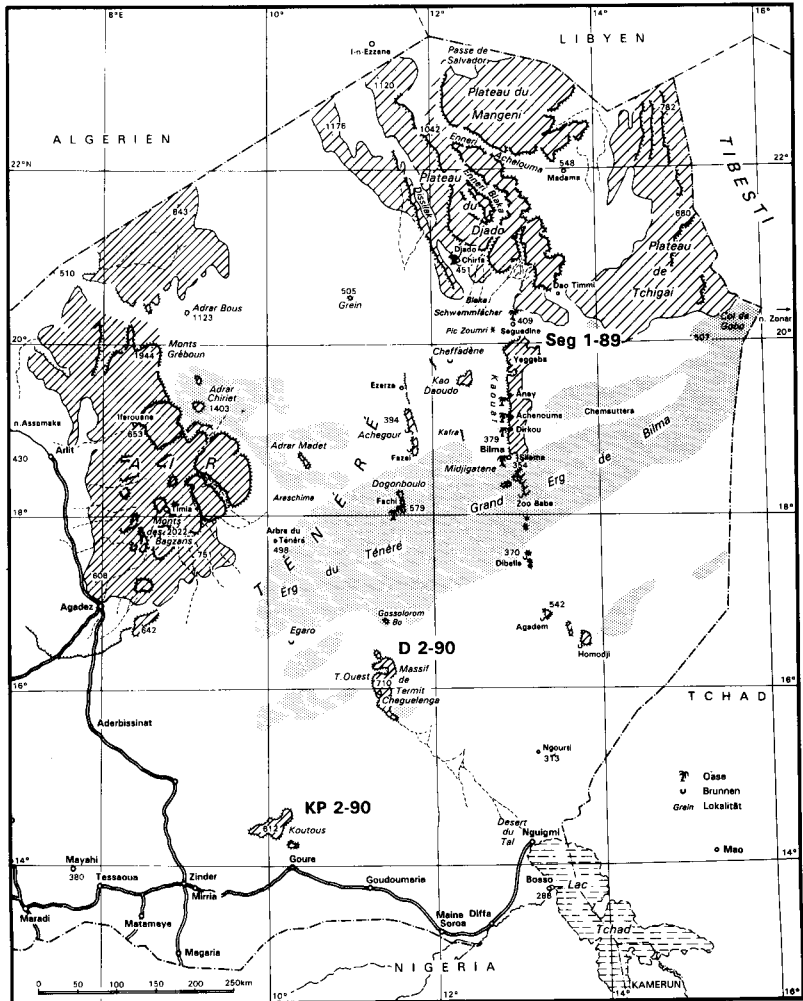
Grundlage der Untersuchung von Karstverfüllungen sind die Arbeiten zum Silikatkarst (BUSCHE, 1982; SPONHOLZ, 1989), die auch erste Beschreibungen von Verfüllungen enthalten. Weitere Hinweise ergeben sich aus morphopedologischen und paläopedologischen Arbeiten in der Region (u.a. FELIX-HENNINGSSEN, dieser Band; SKOWRONEK, 1987; VÖLKEL, 1989). Tertiäre, brekzienartige Verfüllungen werden hier nicht behandelt (vgl. SPONHOLZ, in Vorb.).

Das Arbeitsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfaßt den Ostteil der Republik Niger zwischen 8° und 15° östl. Länge und zwischen 13° und 22° nördl. Breite (Fig. 1).

Der Hauptteil dieses Gebietes besteht aus den weitgespannten Serir- und Sandflächen des Ténéré und des Grand Erg de Bilma mit aufgesetzten Längsdünenzügen. Die Sandsteinmassive nehmen innerhalb dieser Flächen relativ kleinen Raum ein, gliedern jedoch die Flachlandschaften in Form N-S-verlaufender Stufen. In den Stufenvorländern konzentriert sich infolge günstiger hydrologischer Voraussetzungen (artesischer Grundwasseraustritte (vgl. BAUMHAUER & HAGEDORN, 1990)) die heutige Oasenwirtschaft.

Die verkarsteten Sandsteinmassive sind aus mesozoischen Sandsteinen des Continental intercalaire (z.B. Stufe von Bilma, Emi Bao) bzw. des Continental hamadien (Massif de Koutous) oder aus Sandsteinen und Eisenkrusten des Continental terminal (Massif de Termit) aufgebaut (FAURE, 1966). Das maximal errechnete Karstvolumen liegt bei 3 % (SPONHOLZ, 1989; BUSCHE & SPONHOLZ, 1992). Die Verfüllungsprofile wurden in drei Gebieten (Stufe von Bilma/Emi Bao, Termit, Koutous) aufgenommen, deren heutige Klimabedingungen als repräsentativ für die Bereiche: vollsaharisch, saharisch-sahelischer Übergangsbereich und vollsahelisch betrachtet werden können.



IGN, Paris 1977

Fig. 1. Lage des Arbeitsgebietes und der untersuchten Karstverfüllungen.
Location diagram of the area studied and of the karst fillings discussed.

Die Grenze zwischen saharischem und sahelischem Klimaregime verläuft innerhalb des Arbeitsgebietes bei etwa 16° nördl. Breite, mit nach Osten hin südlich ausgreifendem Verlauf der Südgrenze der Sahara infolge zunehmender Kontinentalität. Die Jahresniederschläge reichen von weniger als 20 mm im Norden (Klimameßstation Bilma: 19,8 mm) bis über 400 mm im Süden (Klimameßstation Zinder: 487,5 mm; ANNUAIRE METEOROLOGIQUE, 1985-87).

Methodik

Die Verfüllungen wurden im Gelände nach Schichten bzw. Horizonten gegliedert beprobt. Gleichzeitig wurde eine geomorphologische Aufnahme der Gesamtsituation durchgeführt.

Folgende analytische Untersuchungen wurden vorgenommen:

- Betrachtung von Streupräparaten der unbehandelten Proben unter dem Binokular (Wild, Heerbrug; Auflicht), Vergrößerung bis 50-fach.
- Morphoskopische Untersuchungen unter dem Binokular (Auflicht, 45°) an Quarzkörnern der Fraktion 100-500 μm nach Oxalsäure-Behandlung (nach MÜLLER, 1967), Vergrößerung bis 50-fach. Grundlage der morphoskopischen Ansprache ist die Klassifikation nach CAILLEUX & TRICART (1963), die für die untersuchten Profile in Anlehnung an BAUMHAUER (1986) abgewandelt wurde.
- An Profil D 2-90 wurden in 25-27 cm und in 53-55 cm Tiefe ungestörte Proben entnommen. Dünnschliffe dieser Proben (Stärke um 30 μm) wurden mikromorphologisch analysiert.
- Granulometrie: Trockenes Aussieben der Fraktion > 2000 μm ; nasses Sieben der Fraktion 2000-50 μm (Maschenweiten 1000 μm , 500 μm , 200 μm , 100 μm , 50 μm); Granulometrische Analyse der Fraktion < 50 μm im Sedigraphen (Sedigraph 500 D, Coultronics).
- Röntgenbeugungsanalyse an Pulverpräparaten (Gesamtprobe) und an Texturpräparaten der Fraktion < 2 μm (Philips-Zählrohrgoniometer; CoK_{α} -Strahlung, 2-50° 2 θ für Pulverpräparate, 2-30° 2 θ für Texturpräparate), Texturpräparate jeweils mit Mg-Belegung, nach Temperaturbehandlung (4 Std. bei 520°C) und als Glycerin-Präparat. Der jeweilige Anteil der Tonminerale wurde nach der Intensität der Reflexe semiquantitativ bestimmt.
- Messung des pH-Wertes (in 0,1 n KCL, Glaselektrode)
- Messung des Carbonatgehaltes (ANNE)
- Messung des Gehaltes an org. Kohlenstoff (colorimetrisch)
- Bestimmung des Gehaltes an chemischen Hauptelementen (flammenphotometrisch)
- Die Farbwerte (trockene Proben) wurden nach der MUNSELL SOIL COLOR CHART bestimmt.

Beschreibung der Profile - Analysenergebnisse

Profil Seggedim (Seg 1-89):

Topogr. Lage (vgl. Fig. 1): 12°59'00"E, 20°13'00"N, ca. 570 m ü.NN

Profiltiefe: 100 cm; aufgenommen in geschlossener Depression auf der Dachfläche des Emi Bao.

- 0-6 cm rötlich-gelbe Sandauflage, darauf schwach ausgeprägtes Deflationspflaster.
Die größten Bestandteile der Fraktion > 2000 μm sind Kiese bis 4 cm \varnothing , vorherrschend sind jedoch Korndurchmesser von 1-2 cm. Gerundete Kiese aus in der Umgebung anstehenden, verwitterten Konglomeraten herrschen vor.
Die Sand- und Feinkiesfraktion enthält außerdem Aggregate aus Quarzen in toniger Matrix. Während an den Quarzen alle Zurundungsstufen zwischen sehr gut gerundet und kantig bei meist nur geringer Mattierung vertreten sind, sind die Aggregate als ganze im allgemeinen gut bis sehr gut gerundet.
- 6-40cm Übergang zu feinsandigem Substrat mit knapp 20 Gew.-% der Fraktion < 50 μm . In der Fraktion > 2000 μm tritt nur noch Feinkies bis 3 mm \varnothing auf, wobei das Zurundungsspektrum dem des Hangenden entspricht. Der Anteil an Aggregaten geht deutlich zurück.
- 40-60 cm Zunahme von Grobsand
- 60-100 cm Der Anteil der Feinfraktion gleicht wieder dem der Tiefe 6-40 cm. Der Gehalt an organischer Substanz erreicht mit 0,26 % den Minimalwert innerhalb des Profils.
Ab 90 cm Tiefe sind Suffosionsröhren mit 5-15 cm \varnothing angeschnitten. Sie enthalten Material, das in seinen analytischen Merkmalen dem aus 30-40 cm Tiefe entspricht (vgl. Fig. 2). Eine Verlagerung von Material der Schicht 30-40 cm in den Suffosionsröhren ist deshalb wahrscheinlich. Oberhalb 30 cm Tiefe akkumuliertes Material wurde in diesen Prozess der Durchschlammung offensichtlich nicht mehr mit einbezogen.

Die Bestimmung des Gesamtmineralbestandes (RBA Pulverpräparat) ergab eine Dominanz von Quarz über das gesamte Profil. Die RBA an Texturpräparaten zur Bestimmung der tonmineralogischen Zusammensetzung zeigt Kaolinitdominanz über das ganze Profil (starker Peak bei $d(001) = 7,15 \text{ \AA}$). Möglicherweise stammt der hohe Kaolinitanteil aus verwitterten kaolinitischen Sandsteinen der Umgebung. Die Smectitgehalte erreichen ca. 25 bis 35 % in den hangenden Abschnitten, um unterhalb von 10 cm Tiefe auf Gehalte deutlich unter 20 % zurückzugehen (breite Reflexe bei 12-15 \AA). Sie sind ausschließlich auf Fremdeintrag zurückzuführen.

Profil Seg 1-89

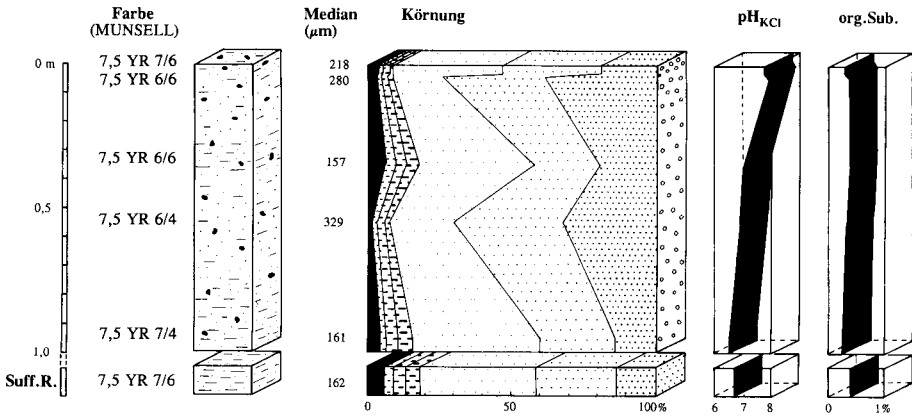















Fig. 2. Profil "Seg 1-89": Profilskizze und Analysenergebnisse.
Profile "Seg 1-89": descriptive profile scetch and analytical results.

Legende zu den Figuren 2-4:

Profilbeschreibung	Körnung
 kantiger/gerundeter Schutt, fein	 Grobsand (500-2000 µm)
 kantiger Schutt, mittel	 Mittelsand (200-500 µm)
 kantiger Schutt, grob	 Feinsand (50-200 µm)
 Pisolithe	 Grobschluff (20-50 µm)
 rezente Durchwurzelung	 Mittelschluff (6,3-20µm)
 Holzkohle (/flitter)	 Feinschluff (2-6.3 µm)
Suff.R. Suffosionsröhre	 Ton (<2 µm)

Profil Termit-Dougoule ("D 2-90"):

Topogr. Lage (vgl. Fig. 1): 11°25'15"E, 15°53'30"N, ca. 530 m ü.NN

Profiltiefe: 120 cm; aufgenommen auf der Dachfläche des Massif de Termit/Dougoulé, in einer abflußlosen Depression in der Nähe der Stufe. Durchmesser der Depression 80-100 m, spärliche Vegetation.

- 0-23 cm grau-beiger Schluff, locker, feingeschichtet; darin Kiese mit max. 3 cm Kantenlänge. An den Depressionsrändern ist ein Deflationspflaster ausgebildet, das die episodische Einspülung der Kiese von den umliegenden Flächen und nachfolgende Auswehung der Feinfraktion belegt.
- 23-35 cm rötlich-gelber, feinsandiger Schluff bis Feinsand, gering verbacken.
- 35-70 cm rötlich-gelb, stark verbacken. Verbackungsgrad nach unten zunehmend; Verschlämmung von Schluff und Feinsand in Poren, an den Porenwänden örtlich Ausfällung von CaCO₃.
- 70-80 cm Übergangsbereich
- 80-120 cm gelb-brauner, feinsandiger Schluff, stark verbacken, in schwach ausgeprägter Horizontalschichtung; darin eingelagert kantiger Grobschutt aus oolithischen Eisenkrusten des Continental terminal.

Profil D 2-90

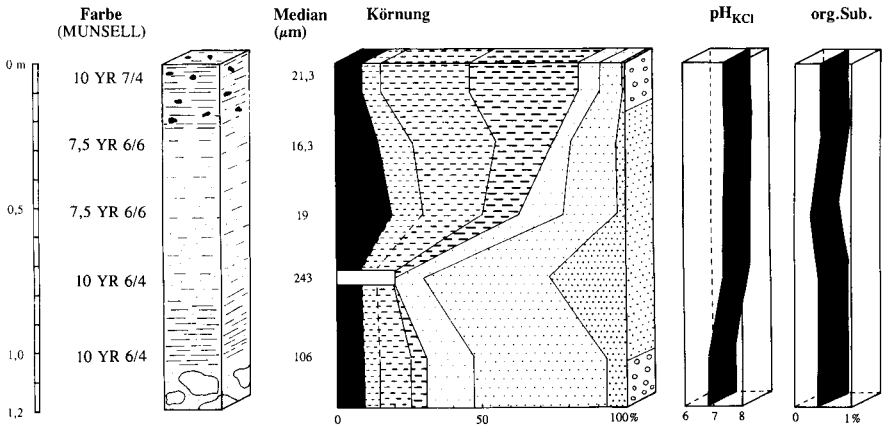


Fig. 3. Profil "D 2-90": Profilskizze und Analyseergebnisse.
 Profile "D 2-90": profile scetch and analytical results.

Die Röntgenanalyse von Pulverpräparaten aus verschiedenen Profiltiefen ergibt eine starke Dominanz von Quarz und jeweils mittlere bis geringe Gehalte an Kaolinit, Feldspäten und Goethit (letzterer ab 30 cm Tiefe). Der Eisengehalt im tieferen Profilteil ist durch Vererbung aus dem Anstehenden der Umgebung zu erklären. Diese lokale Komponente des Materialeintrages fehlt in den hangenden Abschnitten. Deutlich erkennbar ist die Zweigliederung des Profils auch anhand des Tonmineralbestandes: Während in der feingeschichteten Staubauflage Smectite dominieren (ca. 60 %) und Kaolinit (ca. 30 %) und Illite (ca. 10 %) geringere Anteile ausmachen, kehrt sich das Verhältnis im tieferen Abschnitt zum gewohnten Bild deutlicher Kaolinitdominanz (> 70 %) um, während Smectite nur noch mit sehr geringen Anteilen enthalten sind.

Die mikromorphologische Analyse zweier ungestörter Proben aus 25-27 cm und 53-55 cm Tiefe ergab eine Einbettung der Schluff- und Sandfraktion in eine Matrix aus Tonen und amorphen Eisenoxiden. Geringfügige Tonverlagerung ist festzustellen, wenn auch nicht mit der Intensität vertikaler Durchschlammung. Es sind vertikale Makroporen zu erkennen; teilweise tritt Bioturbation auf. In die Matrix eingebettete, gut erhaltene Phytolithe aus amorpher Kieselsäure weisen auf Grasvegetation in der Umgebung zur Zeit der Feinmaterialdeposition hin. Die in gleicher Tiefe an gestörten Proben gemessenen CaCO_3 -Gehalte liegen wie auch in allen anderen untersuchten Proben unter 1 % und damit im Bereich der Nachweisgrenze. An den beiden Dünnschliffen läßt sich jedoch eine geringfügige CaCO_3 -Anreicherung an den Wänden einiger Poren erkennen. Sie deutet auf eine CaCO_3 -Verlagerung in Lösung und Wiederausfällung infolge wechselnder Durchfeuchtung und Austrocknung des Substrates hin.

Profil Koutous/Kirikassamba ("KP 2-90"):

Topogr. Lage (vgl. Fig. 1): 10°09'00"E, 14°21'30"N, ca. 590 m ü.NN

Profiltiefe 95 cm; aufgenommen auf der Dachfläche des Massif de Koutous; abflußlose, ca. 2 m eingetiefte Depression in der Nähe der Stufe; Durchmesser der Depression ca. 50 m. Im Zentrum der Depression dichter Vegetationsbestand.

OF	Deflationspflaster
0-6 cm	gelblich-braunes, gering verfestigtes Feinmaterial. Darin unterschiedlich stark gerundete rosa Quarze, Sand- und Siltsteinbruchstücke bis 5 mm Kantenlänge (aus dem Anstehenden der Umgebung).
6-26 cm	rotbraun, sandig, wechselnd stark verbacken
26-30 cm	mittelgrobes Schuttband
30-50 cm	stark tonig verbacken, mit verwitterten Blöcken bis 20 cm Kantenlänge. Die Quarze zeigen deutliche Korrosionsspuren, die zu den tieferen Abschnitten des Profils hin noch ausgeprägter auftreten.
50-65 cm	rotes, fest verbackenes Feinmaterial mit einzelnen darin eingelagerten

Blöcken. Wühlgänge bis 1 cm Ø. In der Matrix verbacken sind Holzkohlefasern von 1-3 mm Länge (wurden leider erst im Zuge der Probenaufbereitung festgestellt und konnten deshalb nicht mehr datiert werden).

65-90 cm

"Pisolithe" (Sand/Ton) in tonig-feinsandiger Matrix

Basis:

Großblöcke aus verwittertem Umgebungsgestein

Profil KP 2-90

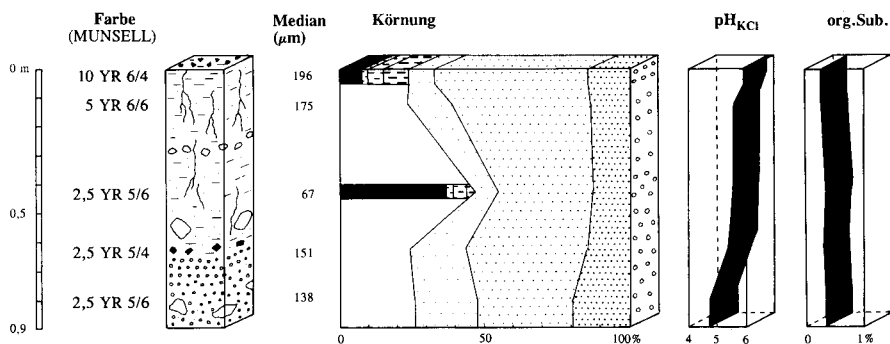


Fig. 4. Profil "KP 2-90": Profilskizze und Analyseergebnisse.
Profile "KP 2-90": profile sketch and analytical results.

Die Analyse von Pulverpräparaten ergibt für das ganze Profil Quarz-/Kaolinit-Dominanz. Daneben treten im oberen Teil des Profiles Feldspäte und Goethit auf; in den liegenden Partien verschwinden die Feldspäte zugunsten höheren Goethitgehaltes. Der auch im Koutous aus dem Anstehenden vererbte Eisengehalt kann im Sinne der von SCHNÜTHGEN & SPÄTH (1983) beschriebenen Prozesse als mit verantwortlich für die starke Korrosion der Quarze in diesem Profilabschnitt angesehen werden. Der Tonmineralbestand ist durch starke Kaolinitdominanz (um 80 %) in den hangenden Partien gekennzeichnet, der von Illiten und quellfähigen Wechsellagerungsmineralen begleitet wird (je um 10 %). Quarz und Smectite sind in geringem Maße vorhanden. In den liegenden Abschnitten treten hingegen ausschließlich Kaolinit (nahe 100 %) und Goethit mit minimalen Anteilen auf.

Die als Fragmente vollständig in der tonigen Matrix eingeschlossenen Holzkohlefasern belegen den allochthonen Eintrag auch der tieferen Verfüllungsschichten. Eine Bildung dieser Substrate einzig durch Verwitterung und Bodenbildung auf dem Anstehenden kann somit ausgeschlossen werden, ein Befund, der in Übereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen von VÖLKELE (1991) steht.

Geochemische Analysen wurden nur an einem Teil der Proben vorgenommen. Sie zeigen gleichfalls deutliche Unterschiede zwischen den Verfüllungstypen, die sich vor allem über das $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis belegen lassen und sich außerdem in dem sehr stark schwankenden Gehalt an Fe_2O_3 manifestieren:

Die jüngeren Verfüllungen am Top der Profile weisen $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse von bis zu 10,5 (Dachfläche der Stufe von Bilma) auf, während die Werte in den stärker verwitterten Verfüllungen um 1,5 bis 2 schwanken (liegende Abschnitte von Profil KP 2-90). Fe_2O_3 macht in den hangenden Partien überall im Untersuchungsgebiet, auch bei erhöhtem Eisengehalt im Umgebungsgestein, maximal um 15 % aus, während im Liegenden durch den Einfluß des Anstehenden der Fe_2O_3 -Gehalt 60 % übersteigen kann (Profil KP 2-90).

Diskussion der Ergebnisse

Zeitlicher Rahmen des Verfüllungseintrages

Das Alter der Verfüllungen kann derzeit noch nicht exakt angegeben werden, da bislang keine Absolutdatierungen vorliegen. Aus dem geomorphologischen Zusammenhang und den Ergebnissen landschaftsgenetisch-paläoklimatischer Forschungen in unmittelbar angrenzenden Gebieten läßt sich jedoch der relative zeitliche Rahmen von Eintrag und Überprägung der Verfüllungen angeben:

1. Die Schwerpunkt der Verkarstung der Sandsteine lag nach den vorliegenden Erkenntnissen im älteren bis mittleren Tertiär (SPONHOLZ, 1989; BUSCHE & SPONHOLZ, 1992). Spätestens mit der Herauspräparierung des heutigen Makroreliefs, der Stufen und ihrer Vorländer, (nach FAURE (1966) an der Wende Tertiär/Quartär) wurden die Karstsysteme im Bereich der Dachflächen drainiert: Die Lösungsformung kam hier weitgehend zum Stillstand. Gleichzeitig mit dem Entstehen des akzentuierteren Makroreliefs ist die Abräumung der ursprünglich die Dachflächen überziehenden Boden- und Verwitterungsdecke anzunehmen, unter der sich der (bedeckte) Karst gebildet hatte (SPONHOLZ, in Vorb.).
2. Im Massif de Termit überlagern die Feinmaterialverfüllungen in den Dachflächendepressionen einen ausgeprägten Windschliff im Anstehenden (vgl. HAGEDORN, 1988). Dieser Windschliff kann sich erst nach Abtragung der Boden- und Verwitterungsdecke (s.o.) gebildet haben. Er weist auf eine Periode extremer äolischer Formung und wahrscheinlich gleichzeitig erstmalig verstärkter Aridität hin.
3. Die Deposition der Verfüllungsmaterialien verlangt eine nochmalige Änderung des Klimageschehens (Ende der starken äolischen Abtragung), wobei der Beginn des Verfüllungseintrages zeitlich noch nicht näher faßbar ist.

4. Innerhalb der Verfüllungsprofile treten unterschiedliche Verwitterungsgrade auf, die das Einwirken zumindest einer quartären Feuchtphase fordern.
5. Die diskordant den Paläoböden/-bodensedimenten auflagernden Sand-/Schluffdepositionen schließen die Profile ab. Ihre Ablagerung ist in Zusammenhang mit der Aridisierung seit dem Mittelholozän zu sehen.
6. Aktuell überwiegt äolische Formung geringer bis mittlerer Intensität, die sich in flächenhafter Staubdeposition einerseits (vgl. COUDE-GAUSSEN et al., 1983; VÖLKELE, 1991) und in der Bildung von Deflationspflastern andererseits manifestiert.

Regionale Unterschiede in der Ausbildung der Verfüllungen

Hinsichtlich einer Regionalisierung der Ergebnisse müssen die liegenden und die hangenden Abschnitte der untersuchten Profile getrennt betrachtet werden:

Liegende Abschnitte

Die Unterschiede zwischen Profilen aus dem Norden und solchen aus dem Süden des Arbeitsgebietes sind in den liegenden Abschnitten deutlicher ausgeprägt als im Hangenden. Vergleicht man die liegenden Verfüllungsschichten miteinander, so sind Indikatoren für relativ höhere Verwitterungs- bzw. Bodenbildungsintensitäten im Termit und im Koutous festzustellen. Hierzu gehören

- ein hoher Gehalt an Kaolinit in der Tonfraktion, der allerdings örtlich auch auf Vererbung von Kaolinit aus dem verwitterten Anstehenden zurückgeführt werden kann,
- $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse um 1,5 bis 2,
- ein hoher Anteil korrodierter Quarze,
- stärkere Tonverlagerung,
- intensivere Färbung.

Im Norden des Untersuchungsgebietes zeigen auch die liegenden Profilabschnitte nur einen sehr mäßigen Verwitterungsgrad, gekennzeichnet vor allem durch zunehmenden Anteil von Kaolinit in der Fraktion $< 2 \mu\text{m}$ (s.o). Die Unterscheidung zu den hangenden Partien beruht im wesentlichen auf Korngrößensortierung (vgl. SPONHOLZ, 1989) und mangelnder Schichtung bei gleichzeitig etwas intensiverer Färbung. Diese Unterschiede treten am ungestörten Profil im Gelände deutlicher zutage als sie sich in den Analyseergebnissen widerspiegeln.

Unter der Annahme etwa gleichen Alters der Verfüllungen lassen diese Unterschiede auf nach Süden zunehmende Verwitterungsintensitäten während der Verfüllungs-Überprägung schließen. Ob dies auf höhere Niederschläge/eine gleichmäßigere Niederschlagsverteilung über das Jahr zurückzuführen ist oder auf - langfristig gesehen - häufigere Perioden aktiver Verwitterung, ist nach dem vorliegenden Kenntnisstand schwer abschätzbar. Es scheint aber, daß mineralogisch-petrographische Unterschiede des Ausgangsmaterials eine untergeordnete Rolle spielen. Ebenso ist aufgrund der topographischen Situation weit oberhalb des quartären Grundwasserspiegels ein regional stark variierender hydrologischer Einfluß weitgehend auszuschließen.

Hangende Abschnitte

Die lößartige Auflage von etwa 10 - 20 cm Mächtigkeit ist im ganzen Untersuchungsgebiet uniform ausgebildet. Kennzeichnend sind feinlaminaire Schichtung und in der Tonfraktion ein hoher Nicht-Kaolinit-Anteil. Farblich setzt sich die Auflage durch gelblich-beige (10 YR 6/4, 7/4) Töne gegen das Liegende ab. Die analytischen Merkmale weisen das Material als allochthonen Eintrag aus.

Eingelagert in die Staubauflage finden sich Reste organischen Materials (Samen, cf. *Calotropis*, im Termit und feines Pflanzenhäcksel - nicht näher bestimmt - im Koutous). Dieses Material scheint aufgrund seines guten Erhaltungszustandes während der Regenzeiten der jüngsten Vergangenheit zusammengeschwemmt worden zu sein. Ebenso ist der Eintrag einzelner Elemente der Feinkiesfraktion, aus denen sich das vorwiegend in den Randbereichen der Depressionen entwickelte Deflationspflaster rekrutiert, durch periodische Verspülung zu erklären. Die Ableitung des Wassers in den Untergrund erfolgt hauptsächlich an Schlucklöchern und weniger durch flächenhafte Infiltration.

Ein interessantes Ergebnis der morphoskopischen Analyse sei hier nochmals besonders hervorgehoben (vgl. a. VÖLKEL, 1991): Die Untersuchung der unbehandelten Proben aus dem Norden des Untersuchungsgebietes zeigt einen teils erheblichen Anteil an Aggregaten aus Quarzen/Quarzsplittern in toniger Matrix. Die Größe der Aggregate variiert im Bereich 200-2000 μm , selten bis 3000 μm . Überwiegend sind die Aggregate gut gerundet. In trockenem Zustand sind sie gegen mechanische Beanspruchung recht stabil. Sie weisen auf einen äolischen Antransport und eine möglicherweise geringfügige fluviale Überprägung bei kurzzeitigen Regenfällen hin, wie sie unter dem heutigen, ariden Klima vorkommen. Bei der Aufbereitung zur "eigentlichen" morphoskopischen Analyse werden diese Aggregate zerstört. Der daraus freigesetzte und in die Analyse eingehende Gehalt an Quarzen täuscht durch den hohen Splitteranteil bzw. die völlig unterschiedliche Zurundung der Einzelkör-

ner eine zu starke fluviale Komponente bzw. eine Vererbung aus dem Anstehenden ohne weiteren Transport vor. Das Vorhandensein der Aggregate weist hingegen auf die Möglichkeit einer gewissen Transportdistanz hin (etwa aus dem Umland der Schichtstufen in die Dachflächendepressionen hinein). Ein äolischer oder episodisch-kurzzeitiger fluvialer Transport mit vorherrschend rollender Bewegung kommt als Verlagerungsmechanismus in Frage.

Schlußfolgerungen

Die deutliche Nord-Süd-Differenzierung in der Ausbildung der liegenden Profilabschnitte und die Uniformität der auflagernden Stäube läßt sich am ehesten mit nach Süden zunehmender Verwitterungsintensität während der Überprägung der tieferliegenden Verfüllungen erklären. Verantwortlich für die Differenzierung waren die paläoklimatischen Bedingungen, die die Tendenz nach Süden zunehmender bzw. länger anhaltender Durchfeuchtung im Jahresgang repräsentieren. Der geringe Verwitterungsgrad und die Suffosionsröhren im nördlichsten der hier vorgestellten Profil, Seg 1-89, zeigen semiaride Bedingungen auch für die ältere Phase der Verfüllungsüberprägung an (HARVEY, 1982). Dagegen weist das südlichste Profil, KP 2-90, die intensivsten Verwitterungsmerkmale auf und läßt damit auf erhöhte Bodenfeuchte schließen.

Die geringmächtige allochthone Staubauflage über den älteren, verwitterten Verfüllungen hingegen repräsentiert in ihrer Ausprägung das rezente, aride bis semiaride Klimaregime, das nirgendwo im Untersuchungsgebiet intensive chemische Verwitterung oder Bodenbildung ohne Grundwassereinfluß zuläßt.

Während nach Vergleich mit anderen Arbeiten zur Klima- und Landschaftsentwicklung Ostnigers (z.B. BAUMHAUER, 1986, 1991; DURAND & LANG, 1986; GASSE, 1987; SERVANT, 1983) das Alter der auflagernden Schichten mit mittelhöhen und jünger angegeben werden kann, bestehen hinsichtlich der Ablagerung der liegenden Schichten und ihrer Überprägung größere Unsicherheiten. Zwar spricht der immer noch mäßige Verwitterungsgrad gegen ein sehr hohes Alter. Eine Zeitgleichheit der Bildungen mit den - im Habitus sehr ähnlichen - von VÖLKEL (1989) und FELIX-HENNINGSEN (dieser Band) beschriebenen, jungpleistozänen bis frühholozänen Paläoböden Ostnigers, die vorwiegend auf Altdünenstandorten untersucht wurden, ist dagegen nicht unbedingt zu fordern, da es sich bei den verfüllten Karstdepressionen um edaphische Sondersituationen handelt. Die Verfüllungen liegen oberhalb des quartären Grundwassereinflusses und werden zudem in den verkarsteten Untergrund drainiert. Deshalb muß bei Annahme semihumider bis semiarider Bedingungen während der Feuchtzeiten mit jeweils nur kurzzeitiger

Durchfeuchtung nach Niederschlägen eine längere Zeitdauer als in den grundwasserbeeinflussten Regionen zum Erreichen der gleichen Verwitterungsmerkmale angesetzt werden.

Danksagung

Meinen Dank möchte ich aussprechen: der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Universität Würzburg für die finanzielle Förderung der Untersuchung; den Mitarbeitern/innen des Centre de Géomorphologie du C.N.R.S., Caen/Frankreich, für die Durchführung eines Teiles der Analysen; allen Kollegen/innen für die gute Zusammenarbeit im Gelände.

Literaturverzeichnis

- ANNUAIRE METEOROLOGIQUE DU NIGER (1985, 1986, 1987)
- BAUMHAUER, R. (1986): Zur jungquartären Seenentwicklung im Bereich der Stufe von Bilma (NE-Niger). - Würzburger Geogr. Arb., 65: 235 S.
- (1991): Palaeolakes in the south central Sahara - problems of palaeoclimatological interpretation. - Hydrobiologia, 214: 347-357.
- BAUMHAUER, R. & H. HAGEDORN (1990): Probleme der Grundwassererschließung im Kavar. - Die Erde, 120: 11-20.
- BUSCHE, D. (1982): Die geomorphologische Entwicklung des westlichen Murzuk-Beckens, des Djado-Plateaus und des nördlichen Kaouar. - Habil.-Schrift, unveröff., Würzburg, I: 377 S. u. II: 137 Abb.
- BUSCHE, D. & B. SPONHOLZ (1992): Morphological and micromorphological aspects of the sandstone karst of eastern Niger. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.Bd. 85: 1-18.
- CAILLEUX, A. & J. TRICART (1963): Initiation à l'étude des sables et des galets. - Bd. 1, Paris: 369 S.
- COUDE-GAUSSEN, G., OLIVE, Ph. & P. ROGNON (1983): Datation de dépôts loessiques et variations climatiques à la bordure nord du Sahara algéro-tunisien. - Rev. Géomorph. Dynamique et Géogr. Physique, 24/1: 61-73.
- DURAND, A. & J. LANG (1986): Approche critique des méthodes de reconstitution paléoclimatique: le Sahel nigéro-tchadien depuis 40.000 ans. - Bull. soc. Géol. de France, 8 (II/2): 267-278.
- FAURE, H. (1966): Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental. - Mém. B.R.G.M., 47: 630 S., Paris.
- FELIX-HENNINGSEN, P. (1992): Frühholozäne Feuchtzeitböden auf Altdünen der Ténére und des Tchigai-Berglandes, Ost-Niger. - Würzburger Geogr. Arb., 83 (dieser Band): 97-129.
- GASSE, F. (1987): Diatoms for reconstructing palaeoenvironments and palaeohy-

- drology in tropical semi-arid zones. - *Hydrobiologia*, 154: 12-163.
- HAGEDORN, H. (1988): Äolische Abtragungsformen im Massiv von Termit (E-Niger). - *Würzburger Geogr. Arb.*, 69: 277-288.
- HARVEY, A. (1982): The role of piping in the development of badlands and gully systems in south-east Spain. - In: BRYAN, R. & A. YAIR (eds.): *Badland geomorphology and piping*: 317-335.
- MÜLLER, G. (1967): *Methods in sedimentary petrology*. - Bd. 1: 283 S.
- SCHNÜTHGEN, A. & H. SPÄTH (1983): Mikromorphologische Sprengung von Quarzkörnern durch Eisenverbindungen in tropischen Böden. - *Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd. 48*: 17-34.
- SERVANT, M. (1983): Séquences continentales et variations climatiques: évolution du Bassin du Tchad au cénozoïque supérieur. - *Travaux et documents de l'ORSTOM*, 159: 573 S.
- SKOWRONEK, A. (1987): Böden als Indikator klimagesteuerter Landformung in der zentralen Sahara. - *Relief, Boden, Paläoklima*, 5: 184 S.
- SPONHOLZ, B. (1989): Karsterscheinungen in nichtkarbonatischen Gesteinen der östlichen Republik Niger. - *Würzburger Geogr. Arb.*, 75: 265 S.
- : Silicate karst associated with lateritic formations (examples from eastern Niger). - in Vorb.
- VÖLKEL, J. (1989): Geomorphologische und pedologische Untersuchungen zum jungquartären Klimawandel in den Dünengebieten Ost-Nigers (Südsahara und Sahel). - *Bonner Geogr. Abh.*, 79: 258 S.
- (1991): Staubsedimentation im nordafrikanischen Sahel - Herkunft und Auswirkung auf die Landschaftsökologie eines semiariden Großraumes. - *Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd. 89*: 73-85.

Barbara SPONHOLZ
 Geographisches Institut
 Universität Würzburg
 Am Hubland
 D-8700 Würzburg