

- *Reliefgenerationen - Klimageomorphologie - Paläoklima*

Helga Besler (Köln), **Wolf Dieter Blümel** (Stuttgart),
Klaus Heine (Regensburg), **Klaus Hüser** (Bayreuth), **Hartmut Leser** (Basel)
und **Uwe Rust** (München)

Geomorphogenese und Paläoklima Namibias

Eine Problemkizze

Mit 6 Figuren und 3 Bildern

Der Artikel verfolgt zwei Ziele: Er faßt für Namibia, insbesondere die Namib, (1) die regionalgeomorphologische Forschungsproblematik zusammen. Zugleich (2) erinnert er an ein methodisches Grundproblem moderner geowissenschaftlicher Forschung. - (1) Die Geomorphogenese der Namib und ihres Hinterlandes wird auf offene Forschungsprobleme durchleuchtet. Sie müssen systematischer und komplexer angegangen werden, d.h. geomorphologische, sedimentologische, paläoklimatische, geologische und tektonische Fakten wären gleichgewichtig zu berücksichtigen. Dies ist in der Forschung bisher noch nicht geschehen. - (2) Die zunehmend verfeinerten geochronostratigraphischen Methoden und der damit verbundene technische Aufwand begünstigen eine von der Sache (und von der Feldrealität) wegführende Spezialisierung. Das heißt, es kommt zu einer Fülle von Einzeldaten, die allenfalls über punktuelle Relevanz verfügen, weil der großräumige und geoökologische Kontext kaum noch berücksichtigt wird. Die vorgelegte Problemdarstellung soll als Anregung zu integrativen und multidisziplinären Forschungen verstanden werden.

1. Einleitung (H. Leser)

Beim 1. Basler Geomethodischen Colloquium (BGC) im Jahre 1975 (Leser 1976) standen geomorphogenetische Fragen zur Flächen-, Terrassen-, Kalkkrusten- und Dünenbildung im Mittelpunkt. Reichlich 15 Jahre später wurden die Forschungsfortschritte beim 16. BGC aufgearbeitet (Leser 1991). Dabei - und nach Sichtung der Literatur - war festzustellen, daß sich in den anderthalb Jahrzehnten doch gewisse geomorphologische Regionalthemen geordnet hatten, ohne daß volle Klärung erreicht war. Daraus resultierte die Idee, die Forschungspro-

bleme vor Ort - im Rahmen einer gemeinsamen Forschungsexkursion - anzusprechen und zu einer repräsentativen Problemkizze zu gelangen. Sie wird mit diesem Artikel vorgelegt und soll der geomorphologischen Forschung in Namibia helfen, bestimmte Fragestellungen gezielter anzugehen.

Die rund dreiwöchige Forschungsexkursion fand im Frühjahr (März/April) 1993 statt. Die Feldbegehungen begannen in der Etoscha-Pfanne (Fig. 1) in touristisch nicht zugänglichen Gebieten, um Pfannengenese, Flußentwicklung und Klimageschichte zu erörtern. Sie wurden

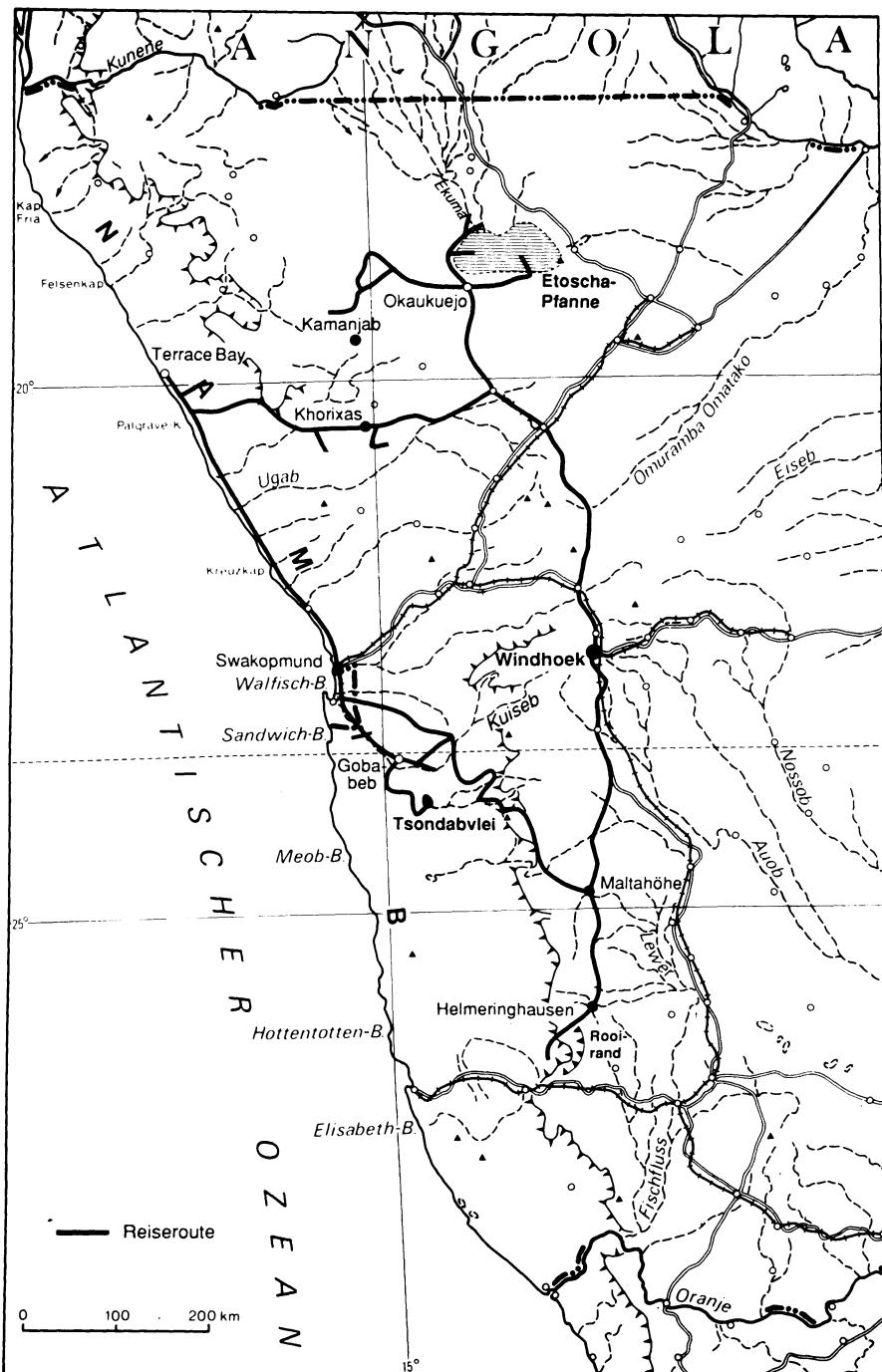


Fig. 1. Übersicht über die besuchten und besprochenen namibianischen Großräume und Lokalitäten (Orig. H. Leser) / Overview on visited and discussed Namibian landscapes and localities (orig. by H. Leser)

im Bereich des Großen Escarpments ('Große Randstufe') des Kaokoveldes fortgesetzt. Dann wurde der Küste nach Süden gefolgt, mit Be- trachtung der Flächen, der Ergs, der Flußmün- dungen und der marinen Terrassen. Im Bereich von Gobabeb, der Wüstenforschungsstation am Kuiseb, wurden der Kuiseb-Talbereich und der Namib-Erg bis zum Tsondab-Vlei begangen, um Flächenbildung, Gramadulla-Relief, Tson- dab-Sandstein und Dünenherkunft und -bil- dung zu diskutieren. Generell spielten bei allen Themen tertiäre Decksedimente und Kalkkrustengenese eine Rolle. Anschließend wurde dem Großen Escarpment und seinen Hochflä- chen nach Süden, bis zum Rooirand, gefolgt, vor allem um die großräumige Bildung der Randstufe sowie die ihrer Vor- und Hinterlä- nder zu diskutieren.

Bei allen Diskussionen wurde von einem geo- logisch-tektonischen Basisansatz ausgegangen, der für die Erklärung der Großformen-Geo- morphogenese Namibias unabdingbar ist. Die nächste methodische Setzung ergab sich durch die Entschlüsselung der Reliefgenerationen und ihrer Verzahnungen, für die es in der Vorna- mib, aber auch entlang des gesamten Escarp- ments, zahlreiche Belege gibt. Die Diskussionen vollzogen sich immer vor dem Hintergrund der großräumigen Sedimentanlieferungen für landesweite Krustenbildungen, Tal- und son- stige Reliefverschüttungen und nachfolgende Exhumierungen; hierbei wurde also vom kli- mageomorphologischen Ansatz ausgegangen. Damit konnte auch die pleistozäne und holozäne Klimaentwicklung, für die es an verschiede- nen Stellen gute - wenngleich nicht immer korrelierbare - Belege gibt, präzisiert werden.

Bei den Diskussionen im Feld stellte sich je- doch heraus, daß zwischen den zahlreichen präzisen lokalen Befunden einerseits und den klimatisch-geomorphologisch-landschaftsge- netischen Leitlinien andererseits, die sich aus einer übergeordneten, auf den Großraum Süd- westafrika/Südafrika bezogenen Betrachtung ergeben, nicht immer direkte und schlüssige

Beziehungen herzustellen waren. Daraus ergab sich die notwendige Konsequenz, diesen aktu- ellen Stand der geomorphologischen Forschung in Namibia zu skizzieren, um der Forschung Möglichkeiten für die Weiterarbeit aufzuzei- gen. Die Autorengruppe kam zu folgenden Schlüssen:

- Die seinerzeit, ab etwa Ende der sechziger Jahre, in den Einzelarbeiten gewählten Ansätze waren durchaus richtig und erbrachten Er- gebnisse (*Leser 1976* und *Leser 1991*), die längerfristig Bestand hatten bzw. Möglichkei- ten für die Weiterarbeit aufzeigten, weil neue Hypothesen formuliert werden konnten.
- Den Ergebnissen fehlte aber vielfach die Einpassung in einen übergeordneten geomor- phologischen und geoökologischen Raum- und Funktionszusammenhang, den es für viele De- tailprobleme der Geomorphogenese Namibias bis heute immer noch nicht gibt und auf den verstärkt hinzuarbeiten wäre.
- Geomorphologische Forschungen sollten nicht nur am Punkt bzw. in einer Region ansetzen, sondern von vornherein auf die überregionalen Daten und Fakten der Geomorphologie, Sedi- mentologie, Paläoklimatologie und Geotekto- nik Bezug nehmen.
- Man sollte sich nicht scheuen, auch großrä- umige, fast klassisch zu nennende methodische Ansätze zu wählen, weil nur darauf bezogene Aussagen Querverbindungen zu überregiona- len/überkontinentalen Aussagen der Geotekto- nik, Geologie, Sedimentologie und Paläokli- matologie - einschließlich der Ozeanographie - herstellen lassen.

2. Geomorphologische Forschungs- schwerpunkte für Namibia (H. Leser)

Die Autorengruppe bearbeitete, entsprechend den persönlichen Erfahrungen und Interessen, für diesen Artikel nachstehend genannte The-

menschwerpunkte. Sie wurden u.a. ausgewählt, weil es sich um repräsentative geomorphogenetische Problemkreise handelt:

- *Die Geogenese der Großen Randstufe (2.1)*

Dies ist ein zentrales, übergeordnetes Thema, das ohne geologische und geotektonische Grundlagen ebensowenig auskommt wie ohne solche zur Plattentektonik und Entwicklung des Atlantischen Ozeans.

- *Kalaharisedimente - Remobilisierung - Kalkkrusten (2.2)*

Den Kalaharisedimenten kommt überregionale Bedeutung für die Bildung von Kalkkrustengenerationen zu, die landesweite Verschüttungs- und Aufdeckungsphasen rekonstruieren lassen. Die weitverbreitete älteste Kalkkruste erlaubt darüber hinaus eine chronologische Einordnung der Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungsgebieten.

- *Gramadulla-Relief und Flußterrassen (2.3)*

Das Wüstenschluchtenrelief um den Kuiseb nimmt eine Schlüsselstellung für die Deutung der Flächen- und Talbildung im Randbereich und Vorland der Großen Randstufe ein, weil ein Bezug zur Großrelief-Geomorphogenese besteht.

- *Tsondab-Sandstein und Dünenfelder (2.4)*

Dieser tertiäre Sandstein erweist sich als Schlüsselsediment sowohl für die Flächen- als auch für die Erg-Bildung in der Namib, weil er wahrscheinlich der Lieferant für das Namib-Sandmeer war. Er steht in Beziehung zum ältesten - überregionalen - Kalkkrustenniveau.

- *Küstenterrassen (2.5)*

Die untersten Niveaus der Namib-Flächen gegen die Küste werden von pleistozänen marinen Terrassen gebildet, von denen die beiden

untersten mindestens zwischen Cunene und südlich des Oranje entlang der gesamten heutigen Namib-Küsten verbreitet sind.

- *Paläoklima, Klimaschwankungen, Datierungen (2.6)*

Für verschiedene überregional verbreitete Reliefgenerationen gibt es Datierungen, die ab dem Tertiär Klimawechsel und -schwankungen belegen. Damit muß eine geomorphogenetische Betrachtung bis auf Ober-Kreide und Tertiär zurückgehen.

Die Themen 2.1 und 2.2 stellen Basisprobleme der Großraumgeomorphogenese dar. Das gilt auch für die Themen 2.3 bis 2.5, die dies jedoch aus regionalen Feststellungen heraus leisten, denen überregionale Repräsentanz zukommt. Thema 2.6 versucht dann, durch die Zusammenschau der Datierungen einen paläoklimatischen Rahmen für die Großraumgeomorphogenese zu geben.

2.1 Die Geogenese der Großen Randstufe (K. Hüser)

Weite Gebiete Afrikas, Fragmente des ehemaligen Gondwana, sind durch Flachlandschaften geprägt. Demgegenüber stellt der Abfall solcher innerkontinentaler, meist hoch gelegener Flächen gegen die rezenten Küsten ein imposantes Steilrelief dar, das als 'Great Escarpment' (Rogers 1921), 'Randschwelle' (Jessen 1943) oder 'Große Randstufe' (Obst und Kayser 1949) schon seit langem im Blickpunkt geomorphologischer Fragestellungen steht. Dies gilt auch für den westlichen Teil des Subkontinents Südafrika, mit der Besonderheit, daß etwa zwischen 20° und 22°S eine sogenannte 'Randstufenlücke' vorhanden ist.

Will man die Relief- und Landschaftsgeschichte Gesamt-Namibias aufdecken, ist es unerlässlich, sich auch heute noch mit dem Problem der Randstufengenese zu beschäftigen, umso mehr,

da sie auch für diesen Teil Gondwanas den mehr oder weniger einzigen 'neo'tektonischen Impuls im Sinne einer Reliefakzentuierung gegenüber unendlich langen Zeiten der Konsolidierung darstellt. Obwohl die Entwicklung der Konzeption von 'New Global Tectonics' in den 60er und 70er Jahren für die Geowissenschaften die Bildung von kontinentalen Randstufen in ganz neuem Licht erscheinen ließ - Randstufen können als ehemalige Randschultern eines Grabenbruchs bei der Trennung der Teilkontinente Gondwanas interpretiert werden - , macht die Übertragung dieses revolutionären tektonischen Modells auf die konkrete Geomorphogenese der Randstufe Namibias immer noch große Probleme und stellt gleichzeitig neue Fragen.

Zwar dürfte feststehen, daß das Vorhandensein der Stufe, bzw. ihr Nichtvorhandensein in der Randstufenlücke, deutlich gesteinskontrolliert ist. So halten im Norden und Süden Namibias harte Gesteine wie Basalte, Quarzite, Konglomerate, Sandsteine - z.T. in nur sehr geringer Mächtigkeit - in Toplage die Stufe fest, im zentralen Teil lassen die alten verwitterungsanfälligen Damara-Granite aber nur die Ausbildung einer konvex verspannten 'Schiefen Ebene' - also nicht die einer Stufe - zu. Hinzugefügt sei, daß der heutige Oberflächenausstrich harter Gesteine bzw. alten Basements seinerseits tektonisch kontrolliert ist, insofern nämlich, als offensichtlich Hebungs- und Muldenachsen quer zum Längsverlauf der heutigen Stufe vorhanden sind (Hüser 1989, 1991).

Aber schon die Frage, ob die Position der heutigen Stufe ungefähr der Position der initialen Grabenschulter entspricht, ist noch nicht annähernd geklärt, hat aber große geomorphologische Konsequenzen. Daraus folgert nämlich für die Stufenbildung entweder ein langer Zeitraum geomorphologischer Passivität oder ein Zeitraum hochaktiven Rücklaufs der Stufe von W nach E in ihre heutige Lage. Natürlich spricht ein Inselbergrelief im Vorland der Stufe (z.B. im Süden Namibias) für einen Rücklauf,

d.h. daß die initiale Grabenschulter weit westlich im jetzigen Atlantik liegen müßte. Umgekehrt könnte der Befund im Norden Namibias, wo mächtige Basalte sowohl das Vorland als auch die Stufe selbst aufbauen, so interpretiert werden, daß die initiale Grabenschulter nicht weit von der jetzigen Randstufe entfernt liegen muß. Übrigens weist der grundsätzlich unterschiedliche Aufbau des nördlichen und südlichen Namibia auch auf die Möglichkeit der grundsätzlich verschiedenen tektono-taphrogenetischen Stellung dieser Gebiete hin - vereinfacht gesagt: Was für den Norden gilt, muß nicht für den Süden gelten, wodurch die geomorphologische Interpretation zusätzlich erschwert wird.

In engstem Zusammenhang damit steht die sowohl von der Geologie als auch von der Geomorphologie bisher unbeantwortete Frage, ob es sich bei dem Trennungsprozeß Südamerikas von Afrika um aktives oder passives Riffen handelte. Im einen Fall steht zu Beginn eine Aufwölbung der Kruste, der basischer bis saurer Vulkanismus folgt, und das Endstadium wird durch Bruchtektonik und Taphrogenese charakterisiert; im anderen Fall beginnt der Prozeß mit Grabenbildung, der eine Krustenaufwölbung folgt, die final von vulkanischen Prozessen abgeschlossen wird. Insofern kann die heutige Randstufe geomorphologisch auch als vorläufiges Produkt einer ehemaligen Flexur oder einer Bruchstufe verstanden werden. Für beide Interpretationen finden sich Argumente in der Analyse topographischer Profile des heutigen Randstufenhabitus (Hüser 1989).

Wie auch immer erhält die geomorphologische Interpretation durch die mit dem Prozeß des kontinentalen Auseinanderbrechens einhergehende Effusion von Flutbasalten eine wichtige zeitliche Fixmarke. Die Etendeka-Basalte Namibias dürften im Zeitraum vom Oberen Rhät bis in die ausgehende Untere Kreide (rd. 130 - 105 Ma) geschüttet worden sein, die maximale Förderung wird etwa um 125 Ma gelegen haben und damit möglicherweise den Zeitpunkt der

Kontinenttrennung andeuten. Schon in der viel älteren Zeit der 'Karoo' (vom Perm bis zur Oberen Trias) wurden weite Gebiete Namibias durch mächtige Sedimente verfüllt - ein Prozeß, der sich im Rhät durch die Sedimentation von Etjo-Sandsteinen und -Konglomeraten fortsetzt und nun durch die Effusion der Flutbasalte (z.T. in sehr großer Mächtigkeit; Hüser 1977, 1991) seinen Höhepunkt findet. Auch Martin (1976) glaubt, daß selbst die höchsten Erhebungen der präbasaltischen Landoberfläche überdeckt wurden.

Da wir heute in weiten Bereichen Namibias diese Überdeckung nicht mehr vorfinden, kann dies nur heißen, daß sie ausgeräumt worden sein muß. Welcher Zeitraum und welcher Prozeß kommt hierfür in Frage? Der Beginn kann frühestens in der Kreide liegen (= Abschluß der Förderung von Flutbasalten). Für die Bestimmung des (vorläufigen) Endes könnten zwei Geländeefunde herangezogen werden. Einmal die heutige Vorlandfläche westlich der Randstufe, die in der Randstufenlücke und unter dem Namib-Erg als absolut perfekte Rumpffläche vorliegt. In weiten Bereichen ist sie von einer Kalkkruste überzogen, die neuerdings von Blümel und Eitel (1993) (in Anlehnung an Ward [1987] u.a.) als miozänes (oder noch älteres?) Produkt angesehen wird. Zum anderen das Vorhandensein des sog. 'Tsondab-Sandsteins', der im zentralen und südlichen Teil diskordant der alten Rumpffläche aufliegt und seinerseits von dem großen Dünenmeer der Namib verhüllt wird. Der Tsondab-Sandstein ist ebenfalls oberflächlich inkrustiert; seine stratigraphische Stellung ist weitgehend unbekannt. Andere korrelative Sedimente, deren Analyse das Paläoprozeßgeschehen, die Paläoklimastruktur und die zeitliche Bestimmung der abgelaufenen geomorphogenetischen Phasen erhellen würde, fehlen in Namibia - ein schon öfter beklagtes 'methodisches Dilemma' (Hüser 1991).

Gerade die '1. Basler Geomethodische Exkursion nach Namibia' hat gezeigt, wie wichtig

und unerlässlich die Kenntnis der zeitlichen Stellung des paläogeooökologischen Prozeßgeschehens ist. Denn dann wäre die geomorphologische Interpretation der Schnittflächenbildung, der teilweisen Bedeckung der Schnittfläche durch einen alten Namib-Erg (der heute als verfestigter und inkrustierter Tsondab-Sandstein unter dem Namib-Erg liegt) und der Kalkinkrustierung der vielen (oder aller?) Georeliefheiten Namibias möglich.

2.2 Kalaharisedimente - Remobilisierung - Kalkkrusten (W. D. Blümel)

Mit der wachsenden Kenntnis über die pedogenetisch-diagenetischen Prozesse der Kalkkrustenbildung erscheint auch dieses Phänomen zunehmend bedeutsam und eingebettet in die überregionale geomorphologische Entwicklung des südwestafrikanischen Raumes. Ausgehend von der unlängst noch offenen Frage der Herkunft des carbonatischen Krustenbindemittels kann eine chronologische wie großräumliche Reliefsequenz abgeleitet werden (Eitel 1993; Blümel und Eitel 1993):

1. Prä-miozäner Abtragungsrumpf

Die Basis der känozoischen Reliefentwicklung stellt der alttertiäre oder prä-miozäne Abtragungsrumpf Namibias (in Verbindung mit der Hochlage der Großen Randstufe und ihren Eten-deka-Basalten) dar.

2. Mitteltertiäre Verschüttungsphase

Im Miozän (?) dominierten vornehmlich von Westen nach Nordosten, Osten und Südosten ausgerichtete Abtragung, Durchgangstransport und Sedimentation im Bereich der zentralen wie randlichen südafrikanischen Depression 'Kalahari-Becken'. Es entsteht eine petrographisch vielfältige, stellenweise bis zu wenigen hundert Metern mächtige Sedimentfolge ('Kalahari-Generation'; Fig.2), deren oberste Lagen zunehmend carbonatisch ausfallen. Letztere bilden die miozäne 'Hauptkalkkrustengeneration' Namibias (Eitel 1993). Als Her-

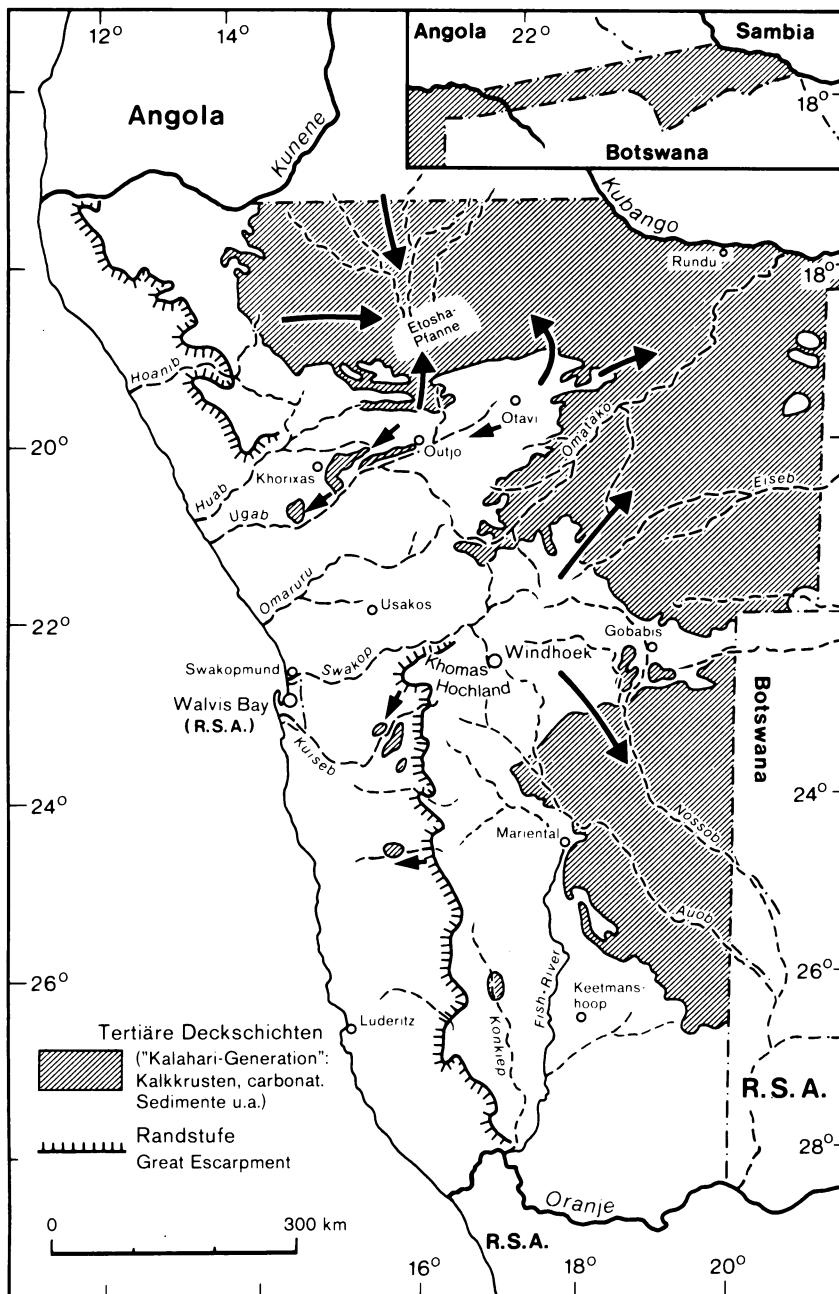


Fig. 2. Hauptschüttungsrichtungen (= Pfeile) der miozänen Kalahari-Sediment-Generation' (Orig. W. D. Blümel) / Directions of the main sedimentation (= arrows) of the Miocene Kalahari sediment generation (orig. by W. D. Blümel).

Die Liefergebiete für die Schüttungen in Richtung der zentralen südafrikanischen Großbecken befinden sich in hohen (Rest-)Bergländern des Damara-Orogens mit kristallinen Gesteinen. Eine wichtige Rolle spielen dabei metamorphe Schiefer, aus denen z.B. Kalke und Schluffe der carbonatischen Deckschichten stammen, aber auch die charakteristischen (residualen) Quarzschorter

kunftsgebiet der kalkführenden, teils inkrustierten oder konkretionären miozänen Deck-sedimente kann mit Hilfe der Sedimentpetrographie das 'Windhoeker Hochland' (= Khamas-Hochland plus Neudammer Hochland) identifiziert werden. Abflüsse und flächenhafte Sedimentschübe bauten in Richtung der Depressionen die jüngsten, semiarid geprägten Schichtglieder der Kalahari-Gruppe auf (oft pauschal und mißverständlich als 'Kalahari-Limestone' bezeichnet). Im Südosten Namibias ist die Hauptkalkkrustengeneration als Schichtstufe und -fläche des Weißenrandes entwickelt. Sie überlagert als Decksediment von nur 5-10 m Mächtigkeit die darunterliegende mesozoische Karoo-Folge. Im Großraum Etoscha-Pfanne erreicht die Kalahari-Generation Mächtigkeiten von 100-200 m; im ehemaligen Herero-Land östlich Grootfontein-Otjiwarongo 200-300 m. Davon sind einige Dekameter carbonatisch und teilweise inkrustiert.

Hinter dieser miozänen Carbonat-Sedimentation steht klimagenetisch die mit der Antarktis-Isolierung einsetzende Kaltwasserzirkulation: Die Anlage des Benguela-Ströms führt zur Aridisierung des südlichen Afrika. Damit lässt sich auch die verstärkte Carbonatisierung im Verwitterungs- und Stoffneubildungsprozeß sowie die signifikant semiarid geprägte Geomorphodynamik erklären. Vom Komplex des Windhoeker Hochlandes ausgehend arbeiten weitreichende flächen- wie linienhafte Umlagerungs- und distale Akkumulationsprozesse. Spülenduation, Schichtfluten u.ä. sind im Sediment ebenso evident wie Pfannenbildungsprozesse und äolische Geomorphodynamik.

Zur gleichen Reliefgeneration gehören die als fluviale Bildungen bekannten Dolomit- und Kalkkonglomerate sowie Kalkkrusten am mittleren und oberen Ugab ('Ugab-Terrassen'), am Kuiseb ('Karpfenkliff'; Ward und Corbett 1990) oder die Kamberg-Calcrete am östlichen Namib-Rand nördlich Solitaire (Yaalon und Ward 1982). In Vorfluternähe dominieren hier Grobsedimente mit stark regional geprägten Mine-

ralspektren. Am Kuiseb wie am Ugab gehen sie über in flächenhafte Kalkkrusten, die in unterschiedlichen Lockersubstraten (z.B. Tsondab-Sandstein, tertiäre Füllungen) entwickelt sind (Blümel 1981).

3a. Jungtertiär-pleistozäne Ausräumungsphase

Die post-miozäne Reliefentwicklung brachte im westlichen Namibia eine verstärkt rück-schreitend arbeitende Erosion und Umkehr wichtiger Entwässerungsbahnen in Gang. So wird z.B. im Einzugsgebiet von Ugab, Huab und dessen Tributär Aba-Huab oder im Bereich des Fischflusses die miozäne Hauptkalkkrustendecke als Schichtstufe (gegen das Einfallen der ehemaligen Schüttungsrichtung) markant herauspräpariert. Es kommt zur weiträumigen Wiederaufdeckung und teilweisen Überformung der prämiozänen Landoberfläche.

Aus der Hauptkalkkruste oder deren liegenden Substraten (unverfestigt, konkretionär o.ä.) erfolgt beim Aufbereitungs- und Abtragungsge-schehen auf der Fläche wie an den Schichtstufen Materialfreisetzung. Dies wird fluvial und/ oder äolisch abtransportiert, sortiert und findet sich als carbonatisches Bindemittel wie auch als klar identifizierbare allochthone Feinsand- und Schluffkomponenten in jüngeren Kalkkrustengenerationen oder polygenetischen Profilen wieder (Blümel 1982, 1991).

3b. Kalkkrustenzerstörung - Silte - Krustenmultiplikation

Die Herkunft des carbonatischen Bindemittels in den weitverbreiteten, oft mächtigen Kalkkrusten Namibias lässt sich in der primären Generation v.a. auf die Verwitterung calciumbürtiger Damara-Schiefer zurückführen (Eitel 1993). Damit wird die vom Autor noch unlängst aufgestellte Hypothese, der für die Krustenbildung erforderliche Kalkstaub ('Löß') stamme aus trockengefallenen Schelfmeerbereichen (Blümel 1991) hinfällig: Aus der erneuten Freisetzung dieser schluffigen Carbonate durch die Aufarbeitung der miozänen Hauptkalkkrusten-



Bild 1. Schichtstufe des 'Weiβrand' (= carbonatische Deckschichten der miozänen Kalahari-Sedimentgeneration) nordöstlich Keetmanshoop (Aufnahme W.D. Blümel 05.03.1993) / *Cuesta of the 'Weiβrand'* (= carbonatic cover sediments of the Miocene Kalahari sediment generation) north-eastern Keetmanshoop (photo by W.D. Blümel 05.03.1993)

Bei der Ausräumung der mitteltertiären 'Hauptkalkkrustengeneration' - hier durch den Fischfluß und seine östlichen Tributäre - erfolgte Freisetzung u.a. inkrustierter wie unverfestigter Kalke und Schluffe. Sie wurden erneut äolisch und/oder fluvial-denudativ umverteilt und als allochthone (Bindemittel-)Komponenten in jüngere Kalkkrusten eingebracht. In unverfestigter Form werden sie als Beckenfüllungen, Terrassen- und Flutauslaufsedimente angetroffen

generation entsteht wiederum ein äolisch weit verfrachtbares Produkt, das in seiner petrographischen Zusammensetzung einem Löß ähnelt (Blümel 1991).

Eitel (1993) führt bei der Remobilisierung von Kalkstaub neben mechanisch-chemischen Zersatzprozessen (Lösung, Residuum) biogene Einwirkungen an: Termiten sind mit ihren Bauten bzw. an die Kalkkrustenoberfläche transportierten Feinmaterialien auf den weiten Flächen der Hauptkalkkrustendecke unübersehbar. Beim Stufenrücklauf werden die herausgespülten und -gelösten Feinsedimente verlagert und teilweise in Becken oder als Alluvionen zwischenakkumuliert (Bild 1). Von dort aus wie von den Krustenoberflächen können weite-

re Schritte der Mobilisierung und (äolischen) Umverteilung folgen. Hier besteht ein offensichtlicher Zusammenhang mit den vieldiskutierten Siltablagerungen (z.B. Homeb-Silts am Kuiseb, Marker 1977; Amspoort-Silts am Hoanib, Rust 1989 u.a.). Diese meist als 'Flutauslaufsedimente' gedeuteten, feingeschichteten Schluffablagerungen sind in ihren Körnungseigenschaften identisch mit den beschriebenen, 'schwemmlößartigen' Alluvionen und Beckenfüllungen (Blümel 1991). Letztere unterlagen in der jüngeren Vergangenheit erneut partieller Ausräumung. Somit lässt sich neben dem Problem der Kalkkrustengenese eine weitere geomorphologische Sequenz und Wechselfolge aufzeigen:

- (i) Schüttung (der carbonatischen Fazies) der Kalahari-Gruppe (= Kalahari-Generationen);
- (ii) Regionale Remobilisierung (Verwitterung, rückschreitende Ausräumung) der Kalahari-Generation;
- (iii) Zwischenakkumulation in Becken und breiten Talzügen der Einzugsgebiete (z.B. Ugab, Hoanib, Huab, Hoarusib); darin Anlage von mindestens zwei fossilen Böden mit Ca-Horizonten (Blümel 1991: 185; Heine 1993; Rust 1985);
- (iv) Erneute Ausräumung und Akkumulation als carbonatisch-siltige Flutauslaufsedimente;
- (v) Abtragung und resultierende aktuelle Silt-Terrassenreste (Vogel und Rust 1990).

Eindeutig jüngere (tertiäre wie pleistozäne) Kalkkrustengenerationen lassen sich nun nach den Vorstellungen der 'Kalkkrusten-Automultiplikation' (Eitel 1993) überzeugend erklären: Der mobilisierte Kalkstaub/Silt geht als allochthones Bindemittel in die primären 'pedogenen' Ca-Horizonte neu entstehender Kalkkrustenprofile ein. Zugehörige Prozeßabläufe und Entwicklungsstadien wurden von Blümel (1981, 1982, 1991) ausführlich beschrieben.

Die Existenz von eigenständigen Kalkkrustengenerationen, beispielhaft ausgebildet im Bereich des Kuseb-Tributärs Gaub (Farm Charé, Hüser 1977; Blümel 1981, 1982) zeigen an, daß in der geomorphologischen Entwicklung Namibias immer wieder Phasen relativer geomorphologischer Stabilität (verbunden mit Krustenbildung durch deszendente Sickerwasserbewegung allochthon-äolisch eingetragener Kalkstäube) mit Phasen der Zerschneidung und Tieferlegung (z.B. als Glacis-Terrassen) abwechselten. In inaktiven Einzugsgebieten mit fehlender Einschneidung äußert sich die paläoklimatische Wechselfolge in polygenetischen Krustenprofilen.

Für die känozoische Gesamtentwicklung Namibias resultiert zusammenfassend somit eine vom Mittel-Tertiär bis in das Holozän reichende Wechselfolge von Verschüttungs- und Abtragungsphasen, in denen ein Teil der involvierten Stoffe immer wieder remobilisiert und in neue Sedimentations- und Diagenesezustände überführt werden.

2.3 Gramadulla-Relief und Flußterrassen (U. Rust)

Im Vergleich zum Rumpfflächenrelief ist im zum Atlantik orientierten Relief Namibias das Gramadulla-Relief (i.S. Wieneke und Rust 1973, 'Wüstenschluchtenrelief' i.S. von Hövermann 1978) als ein tieferes Stockwerk eine nur kleinräumige Modifikation. Im mittleren Namibia ist es beschränkt auf die im Bereich der Randstufenlücke ins feuchtere Hochland zurückgreifenden Riviäre. Diese wichtige Lagedelegenschaft wird im Vergleich der benachbarten Riviäre deutlich: Swakop und Kuseb besitzen Gramadullas, Tumas und Tsondab nicht. Damit erweist sich das Gramadulla-Relief im gegebenen Großrelief (Randstufenlücke, Große Randstufe) als klimatisch bestimmte fluviale Ausprägung des etwa küstensenkrechten hydrogrischen Gradienten (Fig.3) (Rust 1989 b). Seine Beschränkung auf die Rand-Namib und die Namib dokumentiert dort geomorphologisch (Erhöhung der Basisdistanz) eine Fernwirkung des feuchteren Hinterlandes. Da das Gramadulla-Relief küstenwärts zwar in unterschiedlicher Höhe, in jedem Falle aber oberhalb für die Namib-Küste relevanter eustatischer Meeresspiegelstände endet (Klammer 1982; Rust und Wieneke 1976), ist es als nicht eustatisch bestimmt zu verstehen.

Das bei der Gramadullabildung entstandene Relief ist gesteinsbedingt differenziert. In den Füllmassen oberhalb der Schnittfläche im Grundgebirge existiert das dreigliedrige Kalkkrusten-Pediment-Schachtelrelief (Hüser

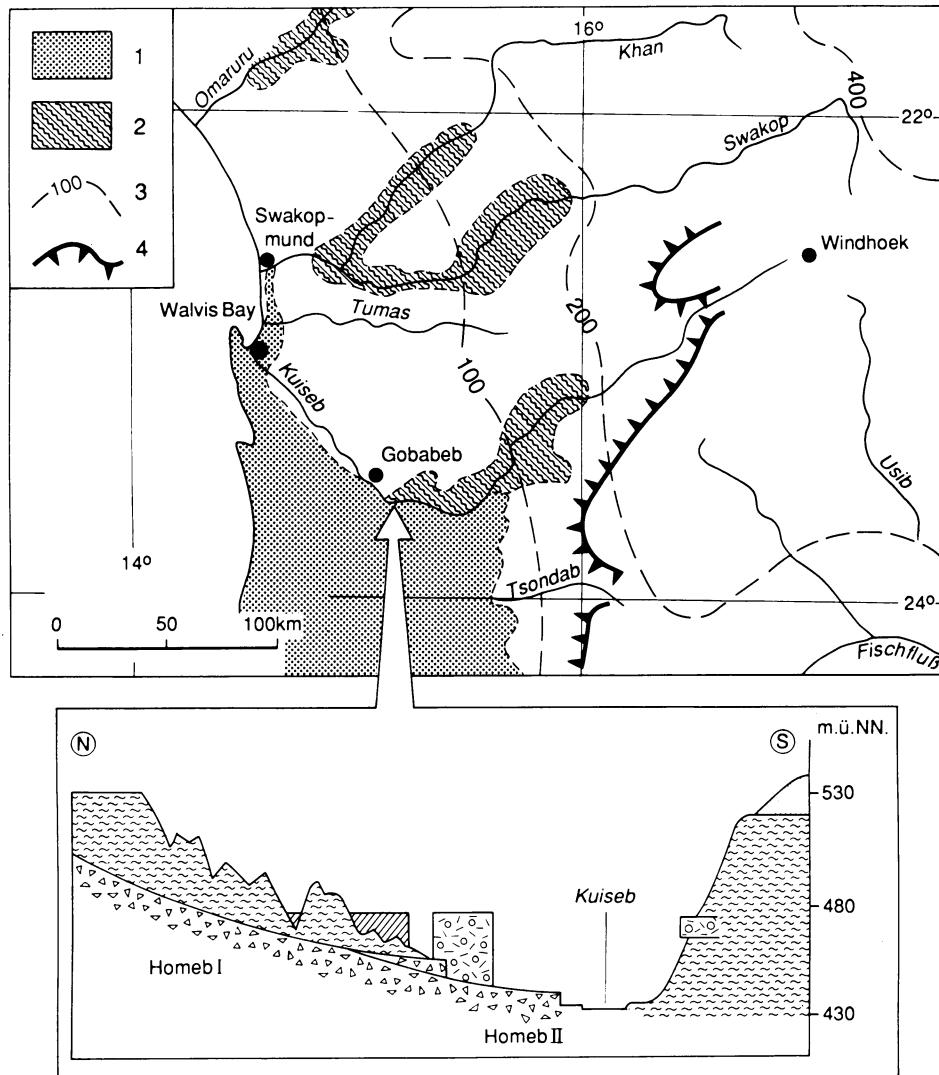


Abb. 3

Fig. 3. Einige Reliefeigenschaften der Mittleren Namib und das 'Niederschlagsrelief' (Entwurf U. Rust nach U. Rust und F. Wieneke 1974, 1980; K. Heine 1987; U. Rust 1989b) / Selected landforms of the Central Namib Desert and the relief of the precipitation (designed by U. Rust from U. Rust und F. Wieneke 1974, 1980; K. Heine 1987; U. Rust 1989b)

Die 'Mittlere' (oder Zentrale) Namib breitete sich vor dem Westteil der Randstufenlücke und vor der südlich davon wieder einsetzenden Großen Randstufe aus. Die Wüstenhaftigkeit der Landschaft wird durch die Lage innerhalb der 100 mm-Isohyete ausgemacht. - Das Profil im unteren Abbildungsteil repräsentiert die Grenze des Gramadulla-Reliefs gegen den Rumpf mit dem Namib-Erg südlich des Kuiseb = Erg (sand sea); 2 = Gramadulla-Relief (desert gorges relief); 3 = Isohyeten mm/Jahr (isohytes mm/y); 4 = Große Randstufe (Great Escarpment); 5 = Grundgebirge (basement); 6 = Oswater-Konglomerat (Oswater conglomerate); 7 = Homeb-Silts (Homeb silts); 8 = Hangschuttermasse (slope debris terrace); 9 = Dünen (dunes)



Bild 2. Ombonde (Beesvlakte) - Typus-Lokalität in einem Becken des Hoanib-Riviersystems (Aufnahme D. Rust 23.04.1992) / Ombonde (Beesvlakte) - Typus-locality in a basin of the Hoanib river system (photo by D. Rust 23.04.1992)

Das Becken befindet sich in 1 050 m NN. und ist von Lockersedimenten verfüllt. Die Mopane-Bäume in den Rinnen weisen auf subaktuelle Badlanderosion hin. Im Lockersediment stecken zwei fossile Böden, d.h. Verbraunungshorizonte, die sich durch ihre dunkle Farbe zu erkennen geben (siehe die Hände). / *Basin of the upper Hoanib river system at 1 050 m a.s.l. infilled by loose sediments. Subrecent badlands (mopane trees growing in the river beds!). In the sediments are developed two fossile soils (= dark grey horizons within the sediments = cambic horizons; see the hands)*

1976; Blümel 1981). Unterhalb der Schnittfläche gibt es Canyons, in welchen gegebenenfalls fluviatile Sedimentkörper Phasen der Reliefentwicklung dokumentieren, was für alle Gramadullas der Namib-Riviere gilt (Rust 1989 a). Die gut erforschten Kuiseb-Gramadullas (Fig.3) mögen als Beispiel und konzeptionelles Modell dienen (Rust und Wieneke 1974; Marker und Müller 1978; Vogel 1982; Ward 1984; Heine 1987).

Das 'Oswater Conglomerate' (Ward 1984) dokumentiert die einzige bedeutende Phase der Flussentstehung zeitlich offener Stellung. Die Fazien sind kalkverkrustete, oft gut gerundete umgelagerte Schotter des umgebenden Dama-

ra-Substrates, vergesellschaftet mit Äolianiten - ein dem heutigen Milieu vergleichbares. Die nur singuläre Terrasse lässt vermuten, daß sie Ausdruck einer Änderung übergeordneter klimazyklischer Frequenzen sein könnte (Heine 1991; Heine 1993).

Die 'Homeb Silts', von Vogel (1982) auf 23 000-18 000 aBP datiert, sind kalkhaltige, wohlgeschichtete Sande und Schluffe (mit eingeschalteten Dünensanden), die nicht mit Hangschutt verzahnt sind und deren Oberfläche bei abnehmender Sedimentmächtigkeit dem Gefälle des Kuiseb aufwärts folgt (Marker und Müller 1978). Die Homeb Silts sind eine 'Akumulationsterrasse' i.S. von Rust (1989 a). Sie bele-

gen eine Talverschüttung des präexistenten Reliefs bei gleichzeitiger Formungsruhe auf den Hängen und eine Laufverkürzung des Kuiseb, also paläoklimatisch Niederschlagsabnahme im Rückland des Kuiseb, wobei an die Kalkkrusten als Materiallieferant zu denken ist. In ihrer zeitlichen Stellung sind sie (bisher) einmalig; als geomorphologische Einheit sind sie modellhaft für die Namibriviere (*Rust* 1987). Es gibt ältere (Hoarusib) und jüngere (Hoanib) (*Rust* und *Vogel* 1988). Die quasirezenten 'Amspoort Silts' des Hoanib (353-283 aBP bzw. 1640-1710 n.Chr.; *Vogel* und *Rust* 1990) sind korrelative Sedimente von Badlandbildungen, die im Rückland der großen Riviere von Damaraland und Kaokoveld als jüngstes Glied der Reliefentwicklung in ca. 1 000 m ü.M. in Lockersedimenten zu beobachten ist (*Rust* 1985; *Blümel* und *Eitel* 1993; *Bild 2*).

Die Homeb I- und Homeb II-Terrassen (i.S. von *Rust* und *Wieneke* 1980; Pediment I und II nach *Heine* 1987) sind aus den Tributären in Richtung auf den Kuiseb geneigt, gehen von Rückhängen aus und sind faziell als Hangschutte zu begreifen. Sie belegen Hangabtragungsprozesse in der Namib selbst und sind damit indikativ für feuchtere Verhältnisse als heute ebendort (*Rust* 1987). Fehlende Bodenbildung auf der Homeb I-Terrasse (9 600 aBP [?]) machen wahrscheinlich, daß sich seit ihrer Schüttung hier nichts ereignet hat (*Heine* 1987). Erstaunlich ist schließlich, daß die rezenten Tiefenlinie des Kuiseb, Basis der 'Homeb Silts' und Basis des 'Oswater Conglomerates' nahezu identisch sind, was vermuten läßt, daß der Kuiseb in allen Fällen sein optimales Längsprofil im gegebenen Großrelief ausbilden konnte.

2.4 Tsondab-Sandstein: Bedeutung für die Dünengelder (H. Besler)

Die Verbreitung dieses tertiären Sandsteins wird durch die ältere, panafrikanische Geotektonik vorgegeben: Die uhrglasartige Aufwöl-

bung der Damara-Schwelle entlang der durch Ringkomplexe verstieften SW-NE-Achse (Walvis Bay-Mombasa-Lineament; *Schandlmeier* und *Pudlo* 1990) verhinderte in ihrem Bereich die Ausbildung der Randstufe nach dem Zerfall des Gondwana-Kontinents. Nördlich und südlich der Schwelle wurden Tiefenlinien und Becken einer alten Landoberfläche (Prä-Karoo nach *Martin* 1975) kreidezeitlich wieder aufgedeckt. Dem entsprechen allein über 4 km mächtige Oberkreide-Sedimente auf dem Walvis-Schelf (*Dingle*, *Siesser* und *Newton* 1983).

An der Wende zum Tertiär (Sedimentausdünnung im Atlantik) verlagerte sich die Akkumulation in die exhumierte Küstenlandschaft und gab Anlaß zur Bildung des Tsondab-Sandsteins und seiner Äquivalente, die nördlich der Damara-Schwelle ab Ugab (*Mabutt* 1952), nach eigenen Beobachtungen im Huab-Umfeld (?) und im Uniab und nach *Ward* (1987) auch im Kharu-Gaiseb, Hunkab und im Cunene und südlich der Schwelle im Tumas (*Wilkinson* 1990) und als Hauptvorkommen zwischen Kuiseb und Koichab gefunden werden (*Besler* 1980). Besonders die wenig verfestigten roten Sandsteine, die im Uniab-Bereich den Skelettküsten-Erg unterlagern (*Bild 3*), zeigen große Ähnlichkeit mit der Fazies C des Tsondab-Sandsteins nach *Ward* (1987, vergl. auch *Besler* 1991). Die Sandsteinvorkommen scheinen mit einer gut ausgebildeten Randstufe zu korrelieren (*Fig.4*).

Nach *Ward* (1987) und anderen Autoren kann die Ablagerung des Tsondab-Sandsteins erst nach Ausbildung des aridisierenden Benguela-Stromes erfolgt sein, da als Sandquelle der durch oligozäne Regression trocken gefallene Küstenstrich mit landeinwärts wandernden Dünen angenommen wird. Gegen marine Bearbeitung der Sande spricht die schlechte Quarzkornrundung im Tsondab-Sandstein (fast überall 'subangular'; *Besler* und *Marker* 1979; *Besler* und *Pfeiffer* [im Druck]), gegen die N- bis NE-Wanderung von Dünen die Existenz des Sandsteins in nach SE ausgreifenden Zungen

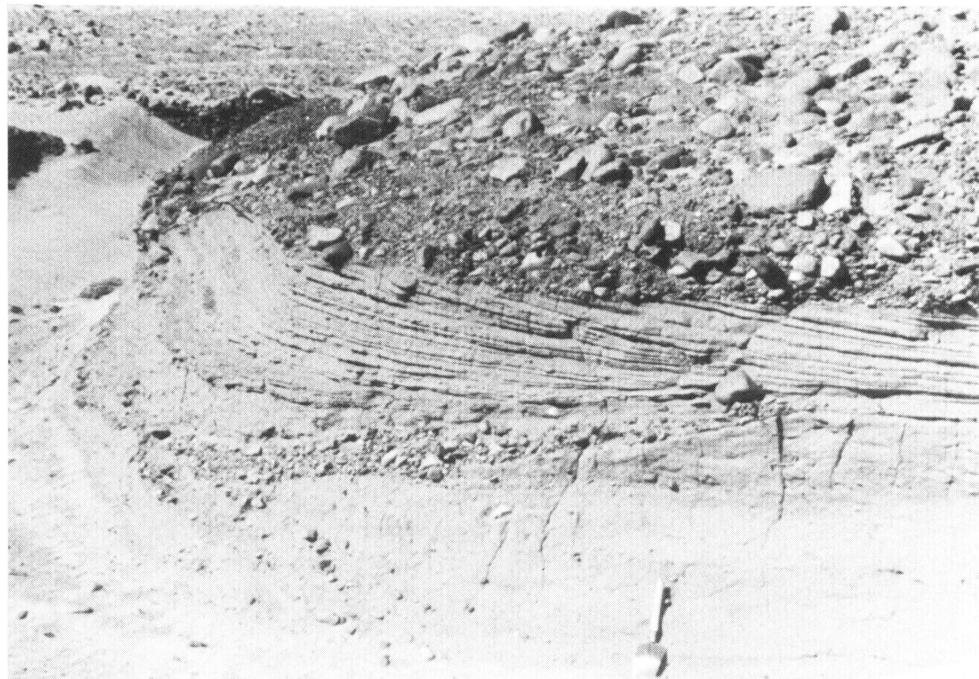


Bild 3. Tertiärer Sandstein als Ausgangsmaterial der Sande der Namib-Ergs (Aufnahme H. Besler 24.03.1993) / Tertiary sandstone - the parent material of the Namib-Ergs sands (photo by H. Besler 24.03.1993)

Das Bild zeigt einen Erosionsrest aus kreuzgeschichtetem rotem Sandstein mit einer Gerölldecke und fluvialem Kieslinsen. Die Lokalität befindet sich in der westlichsten Dünengasse unmittelbar südlich des Uniab, einem Rivier der Namib. Größe der Schaufel: 26 cm / *Erosion residual material of diagonal deposited red sandstone with pebble-top and fluvial gravels. The profile is situated in the most western dune street southern of Uniab river bed. Shovel: 26 cm*

hinter Bergländern am Ostrand. Wird dagegen fluviale Schüttung aus dem nahen Randstufenhinterland angenommen, wofür die schlechte Kornrundung und das mit dem Etjo-Sandstein auf dem Gamsberg übereinstimmende Schwermineralspektrum sprechen (Besler und Pfeiffer [im Druck]), so kann die Sedimentation schon vor voller Ausprägung der Aridität erfolgt sein. Der Proto-Erg bildete sich anschließend als oberstes Stockwerk im Tsondab-Sandstein. Die Untersuchung der Basislagen in den östlichsten Vorkommen und deren Anschluß an das Randstufenrelief auf die Breite des Ergs wären hier aufschlußreich.

Ein zeitliches Bindeglied zwischen dem Namib-Erg und anderen Großlandschaften stellt

die weit verbreitete - vorerst ins Miozän datierte - oberste Kalkkrustenfläche dar, die auch im nördlichen Erg den Tsondab-Sandstein unter den Dünen kappt. Daß diese Kappung gerade westlich der Naukluft stärker und nur hier mit Geröllschüttung erfolgte (Besler 1980), läßt eventuell eine spezielle Naukluft-Tektonik vermuten. Der Lackglanz der Kalkkruste, der zunächst an Verkieselung denken läßt, beschränkt sich auf den Ergbereich und ist auf äolische Politur zurückzuführen. Ein Problem bleiben die geomorphologischen Prozesse der großräumigen Kappung des Proto-Ergs.

Am Tsondab-Vley hat sich im Sandstein ein dem Randstufenfuß (Hüser 1977) vergleichbares Schachtelrelief gebildet, dessen gründliche

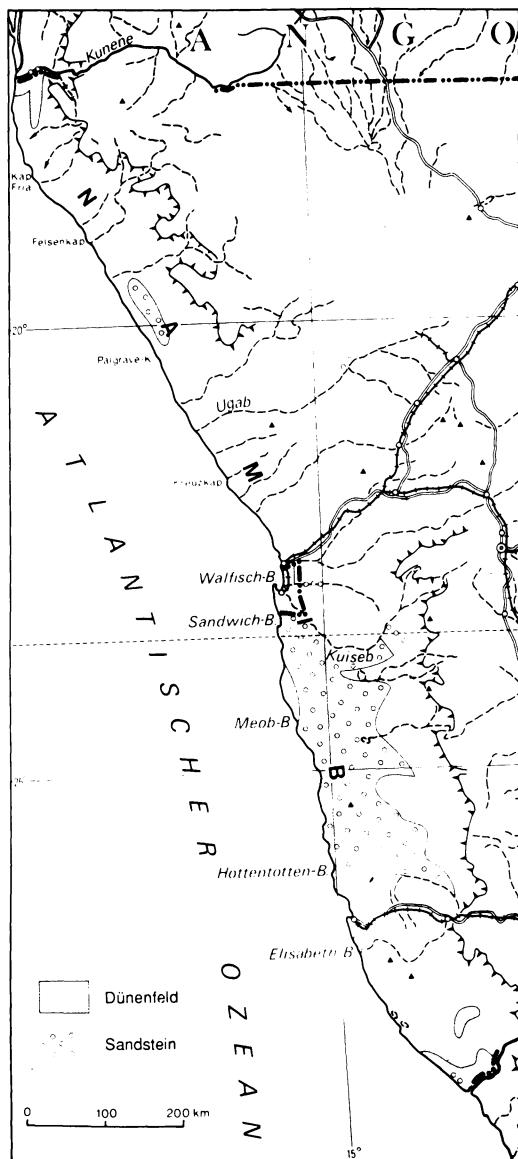


Fig. 4. Verbreitung von Dünenfeldern und tertiären Sandsteinen (vor allem Tsondab-Sandstein) an der Küste Namibias (Orig. H. Besler) / Distribution of dune areas and Tertiary sandstones especially Tsondab sandstone) near the coast of Namibia (orig. by H. Besler)

Das Vorkommen der Ergs in der Namib scheint an das Vorkommen roter bis brauner tertiärer Sandsteine gebunden zu sein, die vor allem vom Tsondab-Sandstein repräsentiert werden. Dieser ist zugleich Georeliefform, Gestein und Verwitterungsmaterial / The distribution of Namib Ergs are probably connected on red to brown Tertiary sandstones, which represented in first order by Tsondab sandstone. The Tsondab sandstone is relief form, sedimentite and weathered debris in one

Aufnahme weitere Aufschlüsse zur Landschaftsgenese erwarten lässt. Gleches gilt für die drei Generationen von Rampenhangsanlagen, die eventuell in Anlehnung an Verhältnisse in anderen ariden Gebieten alt-, mittel- und jungpleistozäne Bildungen darstellen und damit die Anlage des Tsondab-Tales noch ins Tertiär stellen. Der Sandsteinausraum setzte einen Großteil der in den pleistozänen Draa aufgehäuften Sande frei. Analog scheinen auch die kleineren Ergs, z.B. westlich des Tumas oder an der Skelettküste, an tertiäre Sandsteinvorkommen gebunden zu sein (Fig. 4), was noch detaillierter Untersuchung bedarf.

Die dünenfreie Tsondab-Sandsteinfläche westlich des Vleys ist eventuell äolisch tiefergeschaltet worden, da die sekundären, aus der Kalkkruste vererbten Gerölle nicht zur Ausbildung eines Wüstenpflasters ausreichten. Alle Schluff- und Tonvorkommen im Ergbereich westlich des Vleys lassen sich als lokale Pfannen erklären und sind kein Beweis für spätere Wasserführung des Tsondab.

2.5 Küstenterrassen (H. Leser)

An der tektonisch stabilen Namib-Küste zwischen Grootmis (südlich der Oranje-Mündung) und Cunene finden sich Vorkommen mariner Terrassentreppen. Trotz großer Distanzen zwischen den Vorkommen (teilweise sind die Küstenabschnitte Sperrgebiete und können daher nicht untersucht werden) zeigen sich gute Übereinstimmungen zwischen den Niveaus (Fig. 5). Die Literatur zum Thema ist ungleichgewichtig. Die meisten Terrasseneinordnungen basieren auf Niveauvergleichen. Vor allem die Höhenunterschiede zwischen den unteren Niveaus liegen z.T. innerhalb der Schwankungsbreite

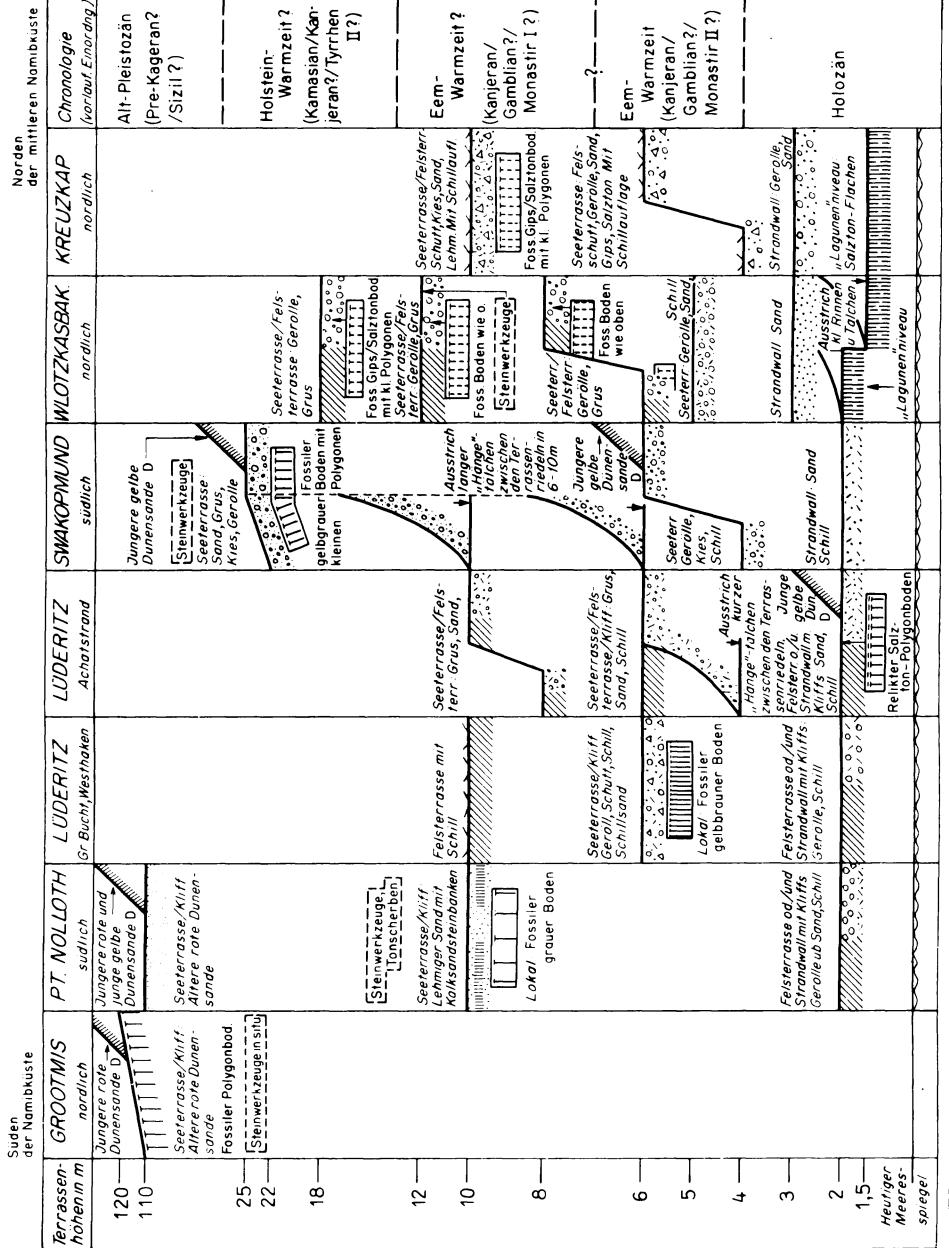


Fig. 5. Stratigraphisch-geomorphologische Tabelle einiger mariner Terrassenvorkommen an der Namib-Küste (Orig. H. Leser) / Stratigraphy and geomorphology of some marine terrace deposits at Namibia coast (orig. by H. Leser)

Das Schema stellt eine vorläufige Übersicht dar. Daher ist es weder in der Kolumne 'Terrassenhöhen' noch in der Spalte 'Chronologie' maßstäblich. Die Profilschemata ordnen sich auf einer Küstenstrecke von ca. 1 000 km an. / The scheme represents a preliminary survey. The columns 'heights of terraces (= Terrassenhöhen)' and 'chronology (= Chronologie)' are out of scales. The profiles are distributed on a coast line of more than 1 000 km

[Steinwerkzeuge] = unterschiedlichen Alters und noch nicht bestimmt

[Tonwerkzeuge] = unterschiedlichen Alters und noch nicht bestimmt

D = Jüngere Dünens unter verschiedenen Alters

Aus o. o. Chronologie herausfallend

marin-litoraler Geomorphodynamik. Die Problematik wird bereits von *Rust* und *Wieneke* (1976) diskutiert. Sie erkennen zwischen den Autorenmeinungen zahlreiche Diskrepanzen. Daran hat sich bis heute nichts geändert. Zur marinischen Terrassengeochronologie der Namib-Küste äußern sich *Davies* (1959, 1971), *Rust* und *Wieneke* (1973, 1976), *Wieneke* und *Rust* (1973 a, b, 1976) und *Spreitzer* (1966).

Das Material der in *Fig. 5* dargestellten Terrassenlokalitäten setzt sich aus marinem Geröll, Kies, Sand, Schill und - gelegentlich - Grus zusammen. Die Mächtigkeiten liegen zwischen wenigen Dezimetern und mehreren Metern. Es handelt sich bei den ausgeschiedenen marinem Terrassenniveaus also nicht nur um Abrasionsflächen, sondern um echte marine Akkumulationen. Lokalitäten mit Felsabrasionsflächen wurden in das Schema nur in bestimmten Fällen aufgenommen, vor allem dann, wenn sich die Felsterrasse seitlich in einer Akkumulationssterrasse fortsetzt. Diese Beobachtung gilt für viele Punkte entlang der gesamten Namib-Küste, so daß auch den Felsterrassen geomorphogenetisch-geochronologische Signifikanz zukommen kann.

Auffällig ist die Entwicklung von - noch nicht datierten - fossilen Böden, die aber in der Regel keinen Klima- und Genesezusammenhang mit dem marinem Terrassenniveau aufzuweisen scheinen, auf dem sie entwickelt sind. Sie wären aber im Rahmen einer umfassenderen holozän-pleistozänen Klimageschichte der Namib von Bedeutung. Dies gilt auch für die teils *in situ* befindlichen urgeschichtlichen Steinwerkzeuge. An verschiedenen Orten kommen zudem kleinere und größere Dünengebiete, bis hin zu den Ausläufern der großen Ergs, vor, so daß auch daraus zeitlich-relative Schlüsse möglich wären. Allerdings harren auch noch die Ergs einer definitiven zeitlichen Einordnung.

Mit *Fig. 5* wird eine provisorisch, bewußt konventionell gehaltene Datierung vorgenommen,

um über einen Anschluß an die ältere Literatur zu verfügen. Verblüffend ist die Übereinstimmung der Niveaus und des schon angedeuteten vertikalen Aufbaus der marinem Terrassen - und zwar über große horizontale Entfernung hin (z.B. Cunene-Oranje), so daß die Gleichheit der Terrassenoberflächen kein Zufall sein kann. Einzelne Lokalitäten - auch in Südafrika - wurden durch andere Autoren sehr genau untersucht, auch wenn dies ohne überregionale Einordnung geschah. Trotzdem liefern sie einen Beitrag zur Absicherung für diesen hier vorgelegten ersten Versuch einer überregionalen Stratigraphie der Namib-Küstenterrassen.

Es wird davon ausgegangen, daß die gut entwickelten Küstenterrassen der Süd-Namib, südlich des Oranje, vielleicht in das Alt-Pleistozän gehören, zumal auch der auf ihnen liegende vorzeitliche verfestigte rote Dünsand (eine schon sandsteinartige Fazies) auf höheres Alter hinweist. Der fossile Polygonboden kann jedoch jünger sein, ebenso die *in situ*-Steinwerkzeuge. Auch diese höchsten Terrassen (110-120 m über dem rezenten Meeresspiegel = geomorphologisch die oberste Grenze des Litorals) weisen beträchtliche Horizontalverbreitungen auf.

Von ebenfalls weiter Verbreitung erweisen sich die 22-25 m-Terrassen, die vor allem südlich von Swakopmund gut beobachtet werden können. Sie sind Bestandteil einer differenzierten Formengesellschaft (Terrassentreppen), deren korrelative Formen und Sedimente feldforscherrisch aufgearbeitet werden müßten. Auch die etwas niedriger, hier als 18 m-Terrasse bezeichneten Vorkommen, z.B. an Wlotzka's Baken, gehören vermutlich in diese Formengesellschaft, die eventuell in die Holstein-Warmzeit datiert.

Viel häufiger verbreitet sind die 10-12 m-Terrassen, die nun an sehr zahlreichen Stellen vorkommen, wobei Felsterrassen- und Akkumulationsterrassenareale miteinander abwechseln. Der sedimentologische Aufbau ist immer

ähnlich oder gleich. Die häufig vorkommenden subterraneen Gipskrustenböden scheinen für die marine Terrassengeochronologie wenig Bedeutung zu haben, man sollte aber bedenken, daß sie an bestimmten Stellen großflächig (marin ?) abgeräumt sind (das gilt vor allem für jene Gipskrusten auf dem vermutlich eemzeitlichen Niveau), so daß eine stratigraphische Aussage durchaus denkbar ist. Voraussetzung wäre die Erfassung der räumlichen und zeitlichen Differenzierung der Gipskrustenflächen der Namib überhaupt. Auf diese 10-12 m-Terrassen sind auch diverse ('Hänge-')Tälchen eingestellt. Denkbar ist eine Einstufung in das Eem.

Ebenfalls eemzeitlich, aber jünger, sind die niedrigeren Terrassen im 6 m-Niveau, die z.T. mit 8 m-Terrassen vergesellschaftet vorkommen. Zeitlich - vielleicht auch geomorphogenetisch - gehören sie zusammen und in einen jüngeren Abschnitt des Eem. Gerade die 6 m-Terrasse liegt überwiegend in marin-akkumulativer Fazies vor, also als Geröll-, Kies-, Sand- und (nicht immer) Schill-Gemisch. - Dieses Niveau ist sehr gut getrennt von einer fast flächenhaft verbreiteten Gesellschaft von niedrigen (z.B. 2 m über dem heutigen Mittelwasserstand liegenden) Felsterrassen, Strandwällen und ihren Sedimenten und Lagunenablagerungen. Sie erscheinen, wegen ihrer Formenfrische und der teilweise aktuellen Beanspruchung, rezent bis subrezent. In jedem Fall gehören sie in das Holozän. Ein wenig irritierend wirken auf ihnen ausstreichende Rinnen und ('Hänge-')Tälchen, deren Anfänge sich in den dahinterliegenden marinen Terrassen befinden. Das würde einerseits für einen mittelholozänen Meeresspiegelanstieg und andererseits für höheres Alter als 'heute' (aber in jedem Fall Holozän) sprechen.

Es müßte versucht werden, die Formen und Sedimente systematischer zu erfassen und sie an den heutigen Theorien der eiszeitlichen und holozänen Klimgeschichte zu messen. Dabei sollte bedacht werden, daß die Basistheorie der eiszeitlichen Meeresspiegelschwankungen im-

mer noch gültig ist und daß die Formen und Sedimente unverrückbare geogene und paläoökologische Tatsachen sind, an denen die Datierungsmethoden eingesetzt werden müssen. Es sollte nicht - umgekehrt - versucht werden, mit Daten die Formen- und Sedimentbefunde 'passend' machen zu wollen.

2.6 Paläoklima, Klimaschwankungen, Datierungen (K. Heine)

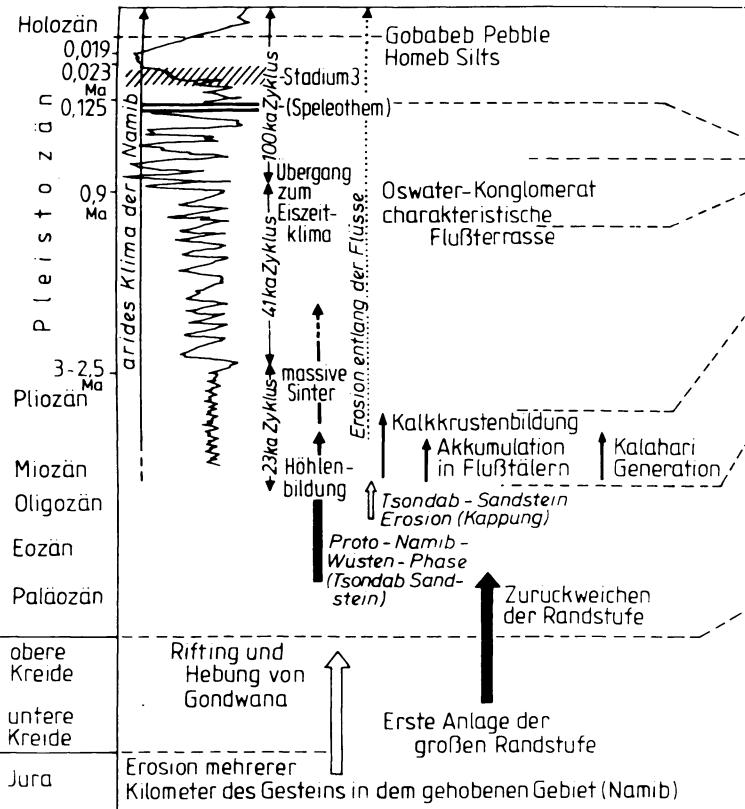
Zeugen verschiedenster Art belegen känozoische hygrische Klimaschwankungen mit einer Tendenz zunehmender Aridität im südlichen Afrika (van Zinderen Bakker 1984; Coetze 1978). Dieser allgemeine Trend wird von untergeordneten Klimaschwankungen überlagert, die sowohl niederschlagsärmer als auch niederschlagsreicher sein konnten und die einerseits zu einem äolischen Formenschatz und andererseits zu Pedogenese und zu fluvial-limnisch geprägten Formen führten.

2.6.1 Obere Kreide und Tertiär

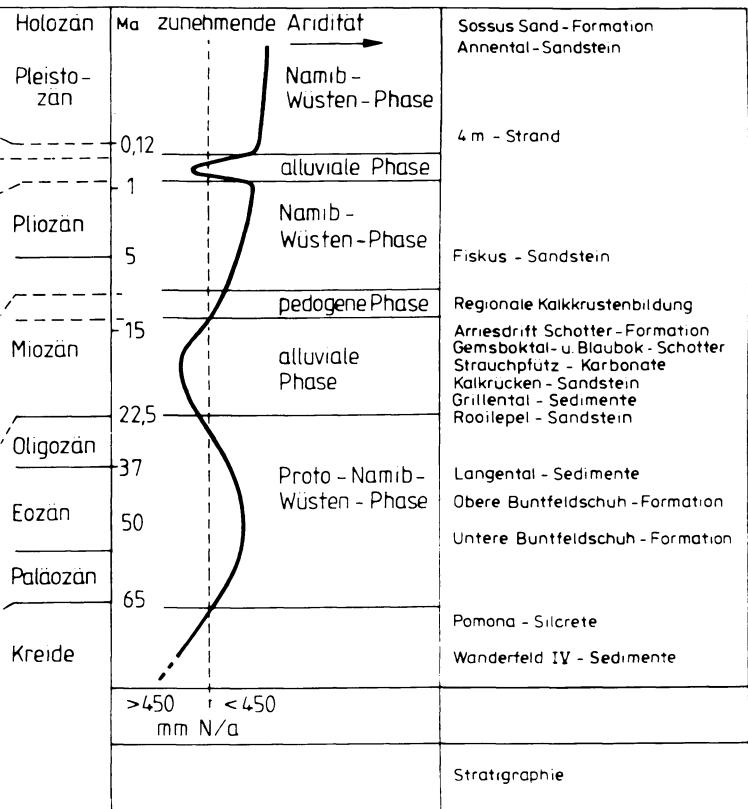
Während der Oberen Kreide herrschten im südlichen Afrika warm-tropische und feuchte Klimabedingungen; tiefgründige Verwitterungsdecken sind weit verbreitet (Partridge und Maud 1989); in den heute semiariden zentralen Teilen gab es Wälder (Scholtz 1985), und vor den Küsten wurden die ins Meer verfrachteten Abtragungsprodukte einer tropischen Verwitterung sedimentiert. Die Kreide/Tertiär-Grenze wird durch einen plötzlichen Wandel der Klimaverhältnisse charakterisiert, der seine Ursache in den Auswirkungen eines Meteoriten-Einschlags haben könnte (McKinnon 1992; Sharpton, Dalrymple, Marin, Ryder, Schuraytz und Urrutia-Fucugauchi 1992).

In der Oberen Kreide (Fig.6) war die südwestafrikanische Randstufe bereits angelegt (Heine [im Druck]) und seitdem wurden Sedimente durch eine zentripetale Entwässerung in

Zentrale Namib



Südliche Namib (Corbett 1989)



6. Vorläufige Geochronostratigraphie für die Zentrale und die Südliche Namib (Entwurf K. Heine nach K. Heine [im Druck] und Autorenkol-
v); Südliche Namib nach I.B. Corbett 1989) / Preliminary Geochronostratigraphy of Central and Southern Namib (designed by K. Heine [in press]
author-group; Southern Namib from I.B. Corbett 1989)

das Kalahari-Becken transportiert. Aufgrund der Sedimentausbildung im Tertiär müssen semiaride Klimaverhältnisse angenommen werden (Thomas und Shaw 1991). Die tertiären Ablagerungen des Kalahari-Beckens sind bisher paläoklimatisch nicht eingehend untersucht worden. Im Paläozän und Eozän verkörpern die Sandsteine der Buntfeldschuh-Formation in der südlichen Namib bereits extrem aride Klimaverhältnisse (Corbett 1989; Partridge 1993 a). In der zentralen Namib werden die Tsondab-Sandsteine von Ward (1987) ins Eozän/Oligozän datiert. Damit könnten sie Äquivalente zu den Buntfeldschuh-Sandsteinen sein. Anderer Auffassung sind Partridge und Maud (1987) und Partridge (1993 a), die ein Alter des Tsondab-Sandsteins von <18 Ma annehmen. Wir wollen uns hier - aufgrund unserer geomorphologischen und paläopedologischen Beobachtungen - Ward (1987) anschließen. Damit ergibt sich für die Namib seit dem Eo-/Oligozän ein arides Klima.

Im Unteren Miozän werden feuchtere Verhältnisse durch fossilführende Sedimente sowie durch fluviale Schotter belegt (Corbett 1989; Corvinus und Henty 1978; Ward und Corbett 1989; Partridge 1993a). Eine Phase pedogener Prozesse lässt sich zwischen ca. 18 und 10 Ma in der Namib nachweisen; sowohl die Fauna von Ariesdrift und den Grillental-Schichten, die eine Savannenvegetation in der Namib belegen (Corvinus und Henty 1978; Corbett 1989), als auch die marinen Bohrkerne vor der Namib-Küste (Walvis Ridge, z.B. Robert und Chamley 1986) sind Hinweise auf diese letzte größere warme Feuchtphase (vgl. auch Coetze 1978). Es wird vermutet, daß die von Heine (1992) beschriebenen Namib-Höhlen in dieser Zeit angelegt wurden. Im Oberen Miozän (< 10 Ma) beginnt die 'Namib-Wüsten-Phase', die zur Ausbildung des Namib-Ergs und des fluvialen Wüstenreliefs (Gramadulla-Relief, Sandschwemmen etc.) führt.

Mit dem Aufbau des westantarktischen Inlandeises im Oberen Miozän (Leg 113 ship-

board scientific party 1987) stellt sich das Benguela-System der kalten Auftriebwässer ein, das zur verstärkten Aridität in Namibia führt. Die jungkänozoischen Klimaschwankungen überlagern diesen generellen ariden Klimacharakter. Auch im Kalahari-Becken dokumentieren die Sedimente Klimabedingungen, die zur Bildung ausgedehnter Dünensysteme führen. Die pliozäne weltweite Abkühlung dokumentiert sich im südlichen Afrika durch zunehmende Aridität.

2.6.2 Quartär

Wegen der Schwierigkeiten, quartäre Sedimente arider Gebiete zu datieren, wie auch der geringen Verbreitung quartärer Sedimente im Bereich alter Abtragungsgebiete wie dem der Namib, ist die Klimgeschichte des Quartärs in Namib und Kalahari wenig bekannt. Bei allgemein ariden Verhältnissen in der Namib und zunehmenden Niederschlägen im Osten und Nordosten Namibias - und zwar auch während des Quartärs - scheinen sich die pleistozänen Glaziale und Interglaziale in der Namib selbst kaum und gegen Osten im Hochland und in der Kalahari nur schwach ausgeprägt zu haben, wobei eine Intensivierung der hygrischen Klimaschwankungen von West (Namib) nach Ost (Kalahari) festzustellen ist (Heine 1993). Eine altpleistozäne fluviale Phase scheint überregional in der Namib durch Flusschotter und Terrassenbildung belegt zu werden. Heine (1990, 1993 [im Druck]) sieht in den Bildungen weniger den Ausdruck einer unmittelbaren klimatischen Ursache, sondern vielmehr einer Veränderung im gesamten Abtragungsgeschehen bedingt durch sprunghafte Anpassung an dynamische metastabile Gleichgewichtszustände (vgl. u.a. Bull 1991).

Hygrische Klimaschwankungen werden in Namib und Kalahari durch Sinterbildungen in Höhlen, See-Sedimente, fossile Böden, fluviale Formen und Sedimente, Fossilien etc. belegt; ihre zeitliche Stellung bleibt jedoch weitge-

hend unsicher. Vorsichtige Interpretationen ergeben, daß während des Quartärs in der Namib selbst hygrische Schwankungen kaum eine Rolle gespielt haben dürften. In der Kalahari sind wiederholt quartäre Pluvialseen entstanden. Vermutlich existierten vor 200 000 +/- 50 000 Jahren aBP im südlichen Afrika feuchtere Klimabedingungen, die zur Bildung von Höhlensintern und von großen Süßwasserseen in den heute trockenen, abflußlosen Pfannen führten. Im Eem und im Sauerstoffisotopenstadium 3 war es feuchter als heute.

Zahlreiche ^{14}C -datierte Paläoklimazeugen ermöglichen eine Rekonstruktion der Klimaschwankungen der letzten ca. 40 000 Jahre (vgl. u.a. Heine 1981, 1982; van Zinderen Bakker 1982, 1983; Shaw, Thomas und Nash 1992; Deacon und Lancaster 1988). Vor >25 000 aBP war es feuchter; das Hochglazial um 20 000 - 18 000 aBP präsentierte sich als relativ aride und windige Phase bei Temperaturabnahmen bis zu 5-6°C gegenüber heute (Partridge 1992 b). Mit dem raschen weltweiten Temperaturanstieg nach ca. 16 000 aBP wird es im südlichen Afrika wieder feuchter, wobei jedoch für die zentrale Namib keine Niederschlagszunahme nachgewiesen werden kann. Die Pleistozän/Holozän-Wende wird nochmals durch geringe hygrische Klimafuktuationen charakterisiert, die vermutlich auch die Namib in sehr geschwächter Form erfassen. Im Holozän erreichen die hygrischen Fluktuationen nicht mehr das Ausmaß der pleistozänen Schwankungen, doch beeinflussen sie die Art der Aridität (Partridge 1993b; Tyson und Lindesay 1992; Scott, Cooremans, de Wet und Vogel 1991). Auch im Holozän ist wieder zu beobachten, daß mit zunehmender Aridität gegen Westen die Stärke der hygrischen Schwankungen abnimmt.

2.6.3 Datierungen

Es muß darauf hingewiesen werden, daß die Datierung der tertiären wie auch quartären Kli-

mazeugen große Schwierigkeiten bereitet. Die chemischen und physikalischen Methoden der Altersbestimmung, die bisher in Namibia angewandt wurden, beschränken sich auf die ^{14}C -Methode, die U/Th-Methode und die Thermolumineszens-(TL)-Methode. Alle Methoden können nur die jüngeren Klimazeugen erfassen: ^{14}C bis ca. 50 000 aBP, TL bis ca. 150 000 aBP, U/Th bis ca. 350 000 aBP. Ältere Klimazeugen sind daher nicht mehr mit den genannten Methoden datierbar. Darüber hinaus bereiten die zu datierenden Materialien selbst oft große Probleme, da infolge von Kontamination die ermittelten Alter verfälscht werden. Zahlreiche ^{14}C -Alter >20 000 Jahre haben nachweislich ein wesentlich höheres Alter. U/Th-Altersbestimmungen sind nur zuverlässig, wenn sich das Material (Höhlensinter, Kalkkrusten, Lignite etc.) nach seiner Bildung in einem 'geschlossenen System' befand, d.h. nicht mehr von Sickerwasser beeinflußt wurde. Bei der Zusammenstellung der namibianischen känozoischen Klimageschichte wurden die Grenzen der genannten Datierungsmethode berücksichtigt; eine exakte zeitliche Ansprache bestimmter jungpleistozäner Klimazeugen wird aus diesem Grund nicht vorgenommen.

3. Zusammenfassende methodische Bewertung der angesprochenen Forschungsschwerpunkte (H. Leser)

Sowohl in der Problematik der Geomorphogenese der Großen Randstufe als auch in jener der Krustenflächen beginnt sich eine räumliche und zeitliche Ordnung abzuzeichnen, die ohne weiteres in die Großraumgeologie (Plattentektonik, Sedimentation im Kalahari-Becken, Geotektonik der südwestafrikanischen Großschollenstücke) hineinpaßt. Während die Großformen-Geomorphologie vom geologisch-tektonischen Ansatz ausgeht, mußte beim Problem der großräumigen Sedimentationen, Krustenbildungen, Material-Remobilisierungen und Talverschüttungen sowie Exhumierungen anders angesetzt werden. Zunächst bedurfte es

der plausiblen, in topischer Dimension durchgeführten Deutung der Kalkkrustengenese, die nur durch sedimentologisch-mineralogische Laboruntersuchungen möglich war. Erst von diesen Befunden aus konnte eine Brücke zur großräumigen Feinsedimentverfrachtung und deren Eingehen in die Krustenbildungen geschlagen werden. Den nächsten Schritt stellt wohl die differenziertere Darstellung der Teilsedimentations-, Verschüttungs- und Ausräumungszonen Namibias dar. Damit wären dann wichtige Teile des Großformenschatzes Namibias, seiner Grundstrukturen und seiner Entwicklung, geklärt.

Mehr oder weniger 'eingehängt' scheinen dann die lokaleren und regionaleren Probleme wie Gramadulla-Relief (*Kap. 2.4*), Tsondab-Sandstein (*Kap. 2.3*) oder Küstenterrassen (*Kap. 2.5*). Diese Forschungsthemen, das belegen obige Bestandsaufnahmen, bedürfen weiterer Vertiefung. Zunächst einmal fordern sie den großräumigen Klärungen (*Kap. 2.1* und *2.2*) Präzisierungen ab, denn die Regionalgeomorphogenese muß mit den Großraumtheorien übereinstimmen und umgekehrt. Die Gramadulla-Problematik ist insofern von überregionaler Bedeutung, als sie zu Überlegungen zwingt, die Geomorphogenese des Hochlandes von Namibia mit jener der Flächen vor dem Großen Escarpment - also der Namib - in Beziehung zu setzen. Das Problem wäre auch für andere Riviere, die aus der Randstufe und/oder vom Hochland kommen und in die Namib ziehen, zu untersuchen. Dies könnte ein neuerlicher Test sowohl für die Talverschüttungs- und Exhumierungsproblematik als auch für die Theorie der Randstufen-Geomorphogenese sein.

Der Namib kommt vor allem klimageomorphologisch große Bedeutung zu. Die Namib als 'älteste Wüste der Erde' zu bezeichnen ist ebenso falsch wie wenig hilfreich, denn die Probleme liegen im Dünenland selber, aber auch im Tiefseesedimentationsbereich vor der Küste begründet. Um in der zeitlichen und

räumlichen Charakterisierung der Dünen weiter zu kommen, muß zunächst einmal das Problem des Tsondab-Sandsteins gelöst werden. Er ist sowohl als Gestein, als auch als Georeliefform wie auch als Lieferant von Verwitterungsmaterial (Sand!) bedeutsam. Nach Klärung seiner faziellen und räumlichen Differenzierungen kann auch die Dünengeomorphogenese - und letztlich die Bildung des Namib-Ergs - genauer bestimmt werden. Die notwendige Folge wären marin-sedimentologische Untersuchungen vor der Küste.

Die marinen Terrassen entlang der Namib-Küste stehen an sich in einem engen Meso- und Mikroformenverbund mit Teilen des küstennahen Hinterland-Georeliefs. Hier scheinen noch nicht alle Korrelationsmöglichkeiten ausgeschöpft, ebenso drängt sich eine methodische Verbindung zwischen fossilen Böden, Küstenterrassenformen, Krusten und vorzeitlichen marinen Sedimenten (samt Fossilien) auf. Ähnlich dem Tsondab-Sandstein hätte zunächst einmal eine einigermaßen lückenlose geowissenschaftliche Bestandsaufnahme zu erfolgen, die Grundlage für die - zwangsläufig punktuellen - Datierungen sein muß. Die Loslösung der Datierungen vom geomorphologischen Milieu war sicherlich einer der folgenreichsten methodischen Fehler, den die Geowissenschaften in den vergangenen 20 Jahren gemacht haben. Das gilt ja nicht nur für die Geomorphologie und nicht nur für Namibia.

Im *Schlußkapitel 2.6* wird der sicherlich gewagte Versuch unternommen, Eckdaten der Geomorphogenese des Subkontinents, Schwerpunkttraum Namibia, zu nennen - und zwar ansetzend im Tertiär. Dabei zeigt sich, daß die Fülle der geochronologischen Daten, die in den vergangenen zwei, drei Jahrzehnten erarbeitet wurden, praktisch nicht unter ein allgemein akzeptiertes methodisches Dach zu bringen sind. Es bleiben nur wenige Basisdaten übrig, ebenso wenige paläoklimatisch-paläökologische Basiskennzeichnungen, die 'anerkannt' sind, d.h. die zu den allgemein akzeptierten

geowissenschaftlichen Theorien (Eiszeiten, Klimawechsel Tertiär/Quartär, Meeresspiegel-schwankungen, Kontinentaldrift etc.) passen. Damit fehlt aber immer noch die großräumige und zugleich präzise Geochrono-Geomorpho-stratigraphie, welche für die geowissenschaftlichen Detailuntersuchungen und die überwiegend nur punktgültigen Datierungen einen sicheren Raster abgibt.

Von Seiten der Geomorphologie, die unter den sich zu Spezialdisziplinen entwickelnden Nachbar-Geowissenschaften eine integrierende Rolle spielen könnte, weil sie einem geographisch-ökologischen Ansatz folgt, könnte hierzu sehr viel beigetragen werden. Dies sollte in erster Linie durch nicht zu kleinräumig angelegte Feldarbeiten geschehen, welche auf die zentralen geowissenschaftlich-paläoklimatischen Hypothesen und Theorien hinarbeiten müßten.

Anmerkung der Redaktion

Redaktion und Herausgeberschaft haben entgegen den Verlagsgepflogenheiten einen überlangen Beitrag des Autorenteams akzeptiert: In zwei getrennten Publikationen wäre das eigentliche Anliegen des Beitrags verlorengegangen - die innerdisziplinäre Verknüpfung bislang isoliert verfolgter geomorphologisch-paläoklimatischer Forschungsrichtungen sowie resultierende offene Fragestellungen aufzuzeigen und bisherige Einzelergebnisse in ihren kausalen Beziehungen vorzustellen.

Danksagungen

Die Gruppe dankt der 'Namibia Wissenschaftlichen Gesellschaft' (Windhoek) für diverse Kontaktmöglichkeiten, ebenso dem Chefbeamten *Eberhard Hofmann* im 'Ministry of Information and Broadcasting'. Dem Botschafter der Bundesrepublik Deutschland, Herrn *Ganns*, danken wir für ein klärendes Gespräch im Hinblick auf die Forschungssituation in Namibia. Herrn *Swart*, vom 'Ministry of Wildlife, Conservation and Tourism' in Terrace Bay, danken wir für die Erlaubnis, daß wir im Skelettküsten-Erg arbeiten durften. Der Leiterin der 'Namib Desert Ecological Research Unit (DERU)', Frau *Dr. Mary Seely*, sei für die Organisation und Durchführung der Exkursion in den Namib-Erg sowie für die Gastfreundschaft auf der

Forschungsstation gedankt. Dem Leiter des 'Etosha Ecological Institute', Herrn *Dr. M. Lindeque*, danken wir für die Erlaubnis, im Etosha-Gebiet arbeiten zu dürfen. Auch der Deutschen Forschungsmeinschaft, die zwischen 1967 und 1992 verschiedene Namibia-Forschungsreisen aller Exkursionsteilnehmer gefördert hat, gebührt Dank.

4. Literatur

- Besler, H.* 1980: Die Dünen-Namib: Entstehung und Dynamik eines Ergs. - *Stuttgarter Geogr. Stud.* **96**: 1-241
- Besler, H.* 1991: Der Namib Erg: älteste Wüste oder älteste Dünen? - *Geomethodica, Veröffentlichungen des 16. Basler Geomethodischen Colloquiums* **16**: 93-122
- Besler, H.* and *M. Marker* 1979: Namib Sandstone: a distinct lithological unit. - *Trans. Geol. Soc. South Africa* **82**: 155-160
- Besler, H.* and *L. Pfeiffer* (im Druck): The Tertiary proto-erg of the Namib: depositional environment of the Tsondab sandstone in Namibia. - *J. Namibia Scientific Soc.* **44**
- Blümel, W.D.* 1981: Pedologische und geomorphologische Aspekte der Kalkkrustenbildung in Südwestafrika und Südostspanien. - *Karlsruher Geographische Hefte* **10**: 1-217
- Blümel, W.D.* 1982: Calcretes in Namibia and SE-Spanien - Relations to substratum, soil formation and geomorphic factors. - *Catena Supplement* **1**: 67-82
- Blümel, W.D.* 1991: Kalkkrusten - ihre genetischen Beziehungen zu Bodenbildung und äolischer Sedimentation. - *Geomethodica, Veröffentlichungen des 16. Basler Geomethodischen Colloquiums* **16**: 169-197
- Blümel, W.D.* und *B. Eitel* 1994: Tertiäre Deckenschichten und Kalkkrusten in Namibia: Entstehung und geomorphologische Bedeutung. - *Zeitschr. f. Geom.* (im Druck)
- Bull, W.B.* 1991: Geomorphic Responses to Climatic Change. - *New York-Oxford*: 1-326
- Coetze, J.A.* 1978: Climatic and biological changes in south-western Africa during the late Cainozoic. - *Palaeoecology of Africa* **10**: 13-29
- Corbett, I.B.* 1989: The sedimentology of diamondiferous deflation deposits within the Sperrgebiet, Namibia. - *Thesis (Geology)*, University of Cape Town

- Corvinus, G. and Q.B. Hendey* 1978: A new Miocene locality at Arriesdrift in Namibia (South West Africa). - *N. Jb. Paläont. Mh.* **4**: 193-205
- Davies, O.* 1959: Pleistocene raised beaches in South-West-Africa. - *Congreso Geológico International, XXI Session, Cuidad de Mexico 1956*, Mexico, D. F.: 347-350
- Davies, O.* 1971: Sea-Level During the Past 11'000 Years (Africa). - *Quaternaria XVI*: 195-204
- Deacon, J. and N. Lancaster* 1988: Late Quaternary Palaeoenvironments of Southern Africa. - Oxford: 1-225
- Dingle, R.V., W.G. Siesser and A.R. Newton* 1983: Mesozoic and Tertiary geology of southern Africa. - Rotterdam: 1-375
- Etel, B.* 1993: Kalkkrustengenerationen in Namibia: Carbonatherkunft und genetische Beziehungen. - *DIE ERDE* **124** (2): 85-104
- Gellert, J.F.* 1974: Pluviale und Interpluviale in Afrika. Geologisch-paläoklimatische und paläogeographische Fakten und Probleme. - Petermanns Geogr. Mitt. **118**: 104-116
- Heine, K.* 1981: Aride und pluviale Bedingungen während der letzten Kaltzeit in der Südwest-Kalahari, südliches Afrika. - *Zeitschr. f. Geomorphologie N. F. Suppl.-Bd.* **38**: 1-37
- Heine, K.* 1982: The main stages of the Late Quaternary evolution of the Kalahari region, Southern Africa. - *Palaeoecology of Africa* **15**: 53-76
- Heine, K.* 1987: Jungquartäre fluviale Geomorphodynamik in der Namib, Südwestafrika/Namibia. - *Zeitschr. f. Geomorphologie N. F., Suppl.-Bd.* **66**: 113-134
- Heine, K.* 1990: Klimaschwankungen und klimage netische Geomorphologie am Beispiel der Namib. - *Berliner Geogr. Studien* **30**: 221-234
- Heine, K.* 1991: Paläoklima und Reliefentwicklung der Namibwüste im überregionalen Vergleich. - *Geomethodica, Veröffentlichungen des 16. Basler Geomethodischen Colloquiums* **16**: 53-92
- Heine, K.* 1992: On the ages of humid Late Quaternary phases in southern African arid areas (Namibia, Botswana). - *Palaeoecology of Africa* **23**: (im Druck)
- Heine, K.* 1993: Zum Alter jungquartärer Feuchtphasen im ariden und semiariden südwestlichen Afrika. - *Würzburger Geogr. Arb.* (im Druck)
- Heine, K. [o.J.]:* The effects of time on the evolution of geomorphological cycles in the Namib Desert, Namibia. - (im Druck])
- Hövermann, J.* 1978: Formen und Formung in der Pränamib (Flächen-Namib). - *Zeitschr. f. Geomorphologie N. F. , Suppl.-Bd.* **30**: 55-73
- Hüser, K.* 1976: Kalkkrusten im Namib-Randbereich des mittleren Südwestafrika. - *Mitt. Basler Afrika Bibliogr.* **15**: 51-81 (= *Geomethodica 1*)
- Hüser, K.* 1977: Namibrand und Erongo. Zur Geomorphologie zweier südwestafrikanischer Landschaften. - *Karlsruher Geogr. Hefte* **9**: 1-213
- Hüser, K.* 1989: Die Südwestafrikanische Randstufe. Grundsätzliche Probleme ihrer geomorphologischen Entwicklung. - *Zeitschr. f. Geomorph. N. F., Suppl. Bd.* **74**: 95-110
- Hüser, K.* 1991: Über die Randstufe Südafrikas. Wissenschaftshistorischer Rückblick und heutiger Forschungsstand vorwiegend geomorphologischer Fragestellungen. - *Geomethodica, Veröffentlichungen des 16. Basler Geomethodischen Colloquiums* **16**: 23-51
- Jessen, O.* 1943: Die Randschwellen der Kontinente. - *Petermanns Geogr. Mitt. Erg.-H.* **241**
- Klammer, G.* 1982: Alte Meeresstände an Küsten des atlantischen Typs und die Meeresspiegelkurve seit dem oberen Miozän - *Würzburger Geogr. Arb.* **56**: 131-150
- Leg 113 shipboard scientific party 1987: Glacial history of Antarctica. - *Nature* **328**: 115-116
- Leser, H. (Hrsg.)* 1976: Methodisch-geomorphologische Probleme der ariden und semiariden Zone Südwestafrikas. - *Geomethodica, Veröffentlichungen des 1. Basler Geomethodischen Colloquiums* **1**: 1-156
- Leser, H. (Hrsg.)* 1991: Paläoklima und pleistozänoholozäne Reliefentwicklung Namibias: Ein Fazit neuerer Forschungsergebnisse im überregionalen Vergleich. - *Geomethodica, Veröffentlichungen des 16. Basler Geomethodischen Colloquiums* **16**: 1-213
- Mabbutt, J.A.* 1952: The evolution of the middle Ugab Valley, Damaraland, South West Africa. - *Trans. R. Soc. South Africa* **33**: 333-365
- Marker, M.E.* 1977: Aspects of the geomorphology of the Kuiseb River, South West Africa. - *Madoqua* **10** (3): 199-206
- Marker, M.E. and D. Müller* 1978: Relict vlei silts of the middle Kuiseb River valley, South West Africa. - *Madoqua* **II/2**: 151-162
- Martin, H.* 1976: A geodynamic model for the evolution of the continental margin of Southwestern Africa. - *An. Acad. Bras., Suppl* **48**: 169-177

- Martin, H.* 1975: Structural and palaeogeographical evidence for an Upper Palaeozoic sea between Southern Africa and South America. - *Proc. Pap. IUGS 3rd Gondwana Symp.*: 37-51
- McKinnon, W.B.* 1992: Killer acid at the K/T boundary. - *Nature* **357**: 16-16
- Obst, E. und K. Kayser* 1949: Die Große Randstufe auf der Ostseite Südafrikas und ihr Vorland. - *Sonderveröff. III d. Geogr. Gesellsch. Hannover*: 1-342
- Partridge, T.C. and R.R. Maud* 1987: Geomorphic evolution of southern Africa since the Mesozoic. - *South African Journal Geology* **90**: 179-208
- Partridge, T.C. and R.R. Maud* 1989: The end-Cretaceous event: new evidence from the southern hemisphere. - *South African Journal Science* **85**: 428-430
- Partridge, T.C.* 1993a: The evidence for Cainozoic aridification in southern Africa. - *Quatern. Intern.* **17**: 105-110
- Partridge, T.C.* 1993b: Warming phases in Southern Africa during the last 150,000 years: an overview. - *Paleogeogr., Paleoclim., Paleoecol.* **101**: 237-244
- Robert, C. et H. Chamley* 1986: La kaolinite des sédiments est-atlantiques, témoin des climats et environnements cénozoïques. - *C. R. Acad. Sc. Paris, t 303, Série II* **17**: 1563-1568
- Rogers, A.W.* 1921: Geological survey and its aims; and a discussion of the origin of the Great Escarpment. - *Proc. Geol. Soc. South Africa*: XXV-XXXIII
- Rust, U.* 1985: Die Entstehung der Etoschapfanne im Rahmen der Landschaftsentwicklung des Etoscha Nationalparks nördliches Südwestafrika/Namibia). - *Madoqua* **14**: 197-266
- Rust, U.* 1987: Geomorphologische Forschungen im südwest-africanischen Kaokoveld zum angeblichen vollariden quartären Kernraum der Namibwüste. - *Erdkunde* **41**: 118-133
- Rust, U.* 1989a: Grundsätzliches über Flußterrassen als paläoklimatische Zeugen in der südwestafrikanischen Namibwüste. - *Paleoecology of Africa* **20**: 119-132
- Rust, U.* 1989b: (Paläo-)Klima und Relief: Das Reliefgefüge der südwestafrikanischen Namibwüste (Kunene bis 27° s.B.). - *Münchener Geogr. Abh.* **B 7**: 1-158
- Rust, U. and J.C. Vogel* 1988: Late Quaternary environmental changes in the northern Namib Desert as evidenced by fluvial landforms. - *Pa-* leoecology of Africa **19**: 127-137
- Rust, U. und F. Wieneke* 1973: Grundzüge der quartären Reliefentwicklung der Zentralen Namib, Südwestafrika. Erste ausgewählte Ergebnisse einer Forschungsreise 1972. - *Journal S.W.A. Wissenschaftl. Gesellschaft 1972/1973*, **XXVII**: 5-30
- Rust, U. and F. Wieneke* 1974: Studies on the gramadulla formation in the middle part of the Kuiseb river, South West Africa. - *Madoqua, ser. II/III*: 5-15
- Rust, U. und F. Wieneke* 1976: Geomorphologie der küstennahen Zentralen Namib (Südwestafrika). - *Münchener Geogr. Abhandlungen* **19**: 1-74
- Rust, U. and F. Wieneke* 1980: A reinvestigation of some aspects of the evolution of the Kuiseb River Valleyup-stream of Gobabeb, South West Africa. - *Madoqua* **12**: 163-173
- Schandlmeier, H. and D. Pudlo* 1990: The Central African Fault Zone (CAFZ) in Sudan - a possible continental transform fault. - *Berliner Geowiss. Abh.*, **A 120.1**: 31-44
- Scholtz, A.* 1985: The palynology of the upper lacustrine sediments of the Arnot pipe, Banke, Namaqualand. - *Ann. S. Afr. Museum* **95**: 1-109
- Scott, L., B. Cooremans, J.S. de Wet and J.C. Vogel* 1991: Holocene environmental changes in Namibia inferred from pollen analysis of swamp and lake deposits. - *The Holocene* **1** (1): 8-13
- Sharpton, V.L., G.B. Dalrymple, L.E. Marin, G. Ryder, B.C. Schuraytz and J. Urrutia-Fucugauchi* 1992: New links between the Chicxulub impact structure and the Cretaceous/Tertiary boundary. - *Nature* **359**: 819-821
- Shaw, P.A., D.S.G. Thomas and D.J. Nash* 1992: Late Quaternary fluvial activity in the dry valleys (mekgacha) of the Middle and Southern Kalahari, southern Africa. - *J. Quat. Sci.* **7(4)**: 273-281
- Spreitzer, H.* 1966: Beobachtungen zur Geomorphologie der Zentralen Namib und ihrer Randgebiete. - *Journal S.W.A. Wissenschaftl. Gesellschaft 1965/66* **XX**: 69-94 und 150-154
- Thomas, D.S.G. and P.A. Shaw* 1991: The Kalahari Environment. - Cambridge University Press: 1-284
- Tyson, P.D. and J.A. Lindesay* 1992: The climate of the last 2000 years in southern Africa. - *The Holocene* **2**(3): 271-278
- Van Zinderen Bakker, E.M.* 1983: The Late Quaternary history of climate and vegetation in East and southern Africa. - *Bothalia* **14**(3/4): 369-375

- Van Zinderen Bakker, E.M.* 1984: Aridity along the Namibian Coast. - *Paleoecology of Africa* **16**: 149-160
- Van Zinderen Bakker, E.M.* 1992: African palaeoclimates 18 000 years BP. - *Paleoecology of Africa* **15**: 77-129
- Vogel, J.C.* 1982: The age of the Kuiseb river silt terrace at Homeb. - *Paleoecology of Africa* **15**: 201-209
- Vogel, J.C.* und *U. Rust* 1990: Ein in der Kleinen Eiszeit (Little Ice Age) begrabener Wald in der nördlichen Namib. - *Berliner Geogr. Studien* **30**: 15-34
- Ward, J.D.* 1984: A reappraisal of the Cenozoic stratigraphy in the Kuiseb valley of the central Namib desert. - In: *J.C. Vogel* (ed.): *Late Cenozoic Paleoclimates of the Southern Hemisphere*: 455-463
- Ward, J.D.* 1987: The Cenozoic succession in the Kuiseb Valley, Central Namib Desert. - *Geol. Surv. SWA /Namibia Memoir* **9**: 1-124
- Ward, J.D.* und *I.B. Corbett* 1989: Towards the age of the Namib. - In: *J.D. Ward* und *M.K. Seely* (eds.): 'Dunes '89 Excursion IA, Field Guide', 8-12. Aug. 1989, Gobabeb Research Station, Namibia: 7-8
- Ward, J.D.* und *I. Corbett* 1990: Toward an Age for the Namib. - In: *Seely, M.K.* (ed.), *Namib Ecology: 25 Years of Namib Research*. - *Transvaal Museum Monograph* **7**: 17-26
- Wieneke, F.* und *U. Rust* 1973a: Klimageomorphologische Phasen in der Zentralen Namib (Südwestafrika). - *Mitt. Geogr. Gesellschaft München* **58**: 79-96
- Wieneke, F.* et *U. Rust* 1973 b: Variations du niveau marin et phases morphoclimatiques dans le désert du Namib Central, Afrique du Sud-Ouest. - *Finisterra* **VIII/15**: 48-65
- Wilkinson, M.J.* 1990: Paleoenvironments in the Namib Desert: the lower Tumas Basin in the Late Cenozoic. - *Univ. of Chicago, Geogr. Res. Pap.* **231**: 1-196
- Yaalon, D.H.* und *J.D. Ward* 1982: Observations on calcrite and recent calcic horizons in relation to landforms, Central Namib Desert. - *Paleoecology of Africa* **15**: 183-186

Zusammenfassung: Geomorphogenese und Paläoklima Namibias. Eine Problem skizze

Die Autorengruppe besuchte in Namibia mehrere geomorphologische Schlüsselkalitäten für die großräumige Geomorphogenese von Großem Escarpment und Namib. Dabei wurde ein Zusammenhang zwischen tertiären Sedimenten der Kalahari, Kalkkrustenbildungen, Talverschüttungen, Exhumierungen und Randstufenentwicklung hergestellt. Die Erklärungmodelle für die Pfannen-Geomorphogenese (Etoscha-Pfanne), die Rumpf- und Stufenland-Differenzierungen (Escarpment), die Flachformengenerationen (Rand-Namib und Namib) und die Erg-Entstehung wurden diskutiert und modifiziert (Fig. 6). Die bisherigen geomorphogenetischen Erklärungen setzten regional oder lokal an. Dadurch kam bislang noch kein landesweites geomorphogenetisches Modell zustande, das auch geologisch genügend fundiert gewesen wäre. Um dies zu erreichen, muß man für die Großformenentwicklung des Hochlandes von Namibia, der Randstufe und der Namib die Relief- und Materialentstehung seit der Kreidezeit miteinbeziehen und Zusammenhänge mit geologisch-tektonischen Vorgaben und den Gesteinsfazien suchen. Die Geländearbeit zeigte, daß zunächst noch verschiedene geologische und geomorphologische Regionalprobleme systematischer und großräumiger als bisher erforscht werden müssen. Dazu gehören vor allem der Tsondab-Sandstein, die Rivierterrassen verschiedener Escarpmentflüsse, die Namib-Ergs und die Küstenterrassen.

Summary: Geomorphogenesis and palaeoclimate in Namibia. An outline of some problems

Investigations were made in Namibia at some key geomorphologic localities of importance for the large scale geomorphogenesis of the Great Escarpment and the Namib Desert. The investigations assess relations between Tertiary sediments of the Kalahari, calcrites, valley sediment fills, relief exhumations and development of the Great Escarpment. Models explaining the pan-geomorphogenesis (e.g. Etosha Pan), the peneplain and cuesta differentiations (Great Escarpment), the pediment generations (Namib border and Namib) and the genesis of the Namib Sand Sea (Erg) were discussed and modified (fig. 6). Earlier geomorphogenetic explanations were based on a local or regional

approach. Such results have no validity for an all-Namibian relief model. To produce a model including geological evidence, the approach must change to an integrative model. This should include the mega-relief development of the Namibian Highlands and of the Great Escarpment, including the substratum genesis and the sediment transports, based on geological and geotectonical fundamentals and in consideration of lithofacies. Field work has shown, that several geologic and geomorphogenetic regional problems must be investigated in a more systematic way and on a smaller scale than has previously been the case. Important research problems in Namibian geomorphology are the genesis of the Tsondab sandstone, the Pleistocene terraces of the Escarpment rivers, the Namib ergs and the marine coast terraces.

Résumé: Géomorphogénèse et paléoclimat du Namibia. Une esquisse du problème

Des recherches ont été faites au Namibia dans plusieurs localités géomorphologiques clés quant à la géomorphogénèse du Grand Escarpement et du désert du Namib. Dans ce contexte, une relation a été établie entre les sédiments tertiaires du Kalahari, les formations de crôutes calcaires, les remplissements de la vallée et le développement du Grand Escarpement. Les modèles explicatifs pour la poêle-géomorphogénèse (Etoscha-poêle), les différenciations de la surface d'aplanissement de l'Escarpement (Grand Escarpement), les générations d'aplanissement et le développement de l'Erg ont été discutés et modifiés (fig. 6). Jusqu'à présent, les explications géomorphogénétiques étaient valables à l'échelle régionale ou locale. Pour cette raison, aucun modèle géomorphogénétique n'existe enco-

re qui soit, pour l'ensemble du pays, géologiquement satisfaisant. Afin d'obtenir un modèle incluant la géologie, il faut changer la méthode et développer un modèle intégratif. Pour y parvenir, il est nécessaire, en ce qui concerne le développement du méga-relief du massif montagneux du Namibia, de l'Escarpe et du Namib, de prendre en considération l'origine du relief et de la géologie du Namib depuis le crétacé et de chercher des relations entre la géologie tectonique et les faciès des roches. Les travaux sur terrain ont montré que différents problèmes régionaux concernant la géologie et la géomorphogénèse exigent une recherche plus systématique et plus générale, en particulier pour le grès du Tsondab, les terasses pléistocènes de plusieurs rivières de l'Escarpe, les Ergs du Namib et les terasses côtières.

Manuskripteingang: 06.09.1993
Annahme zum Druck: 27.11.1993

Prof. Dr. Helga Besler, Geographisches Institut der Universität zu Köln, Abt. für Afrika-Forschung, Albertus-Magnus-Platz, D-50931 Köln; Prof. Dr. Wolf Dieter Blümel, Geographisches Institut der Universität Stuttgart, Azenbergstr. 12, D-70174 Stuttgart; Prof. Dr. Klaus Heine, Institut für Geographie der Universität Regensburg, Universitätsstr. 31, D-93053 Regensburg; Prof. Dr. Klaus Hüser, Geographisches Institut der Universität Bayreuth, Universitätsstr. 30, D-95440 Bayreuth; Prof. Dr. Hartmut Leser, Geographisches Institut der Universität Basel, Klingelbergstr. 16, CH-4056 Basel; Prof. Dr. Uwe Rust, Institut für Geographie der Universität München, Luisenstr. 37, D-80333 München