

3650

3650 RUS

Uwe R u s t

Über Konvergenzen im Wüstenrelief am Beispiel der südwestafrikanischen Namibwüste (Skelettküste und Zentrale Namib)*

(mit 4 Textfiguren, 2 Tabellen und 4 Photos)

1. Einführung — Problemstellung

Die nachfolgenden Ausführungen resultieren im wesentlichen aus Forschungen in Südwestafrika/Namibia, die der Autor zusammen mit F. WIE NEKE 1971/72 und 1978 durchgeführt hat, sowie früheren eigenen Beobachtungen 1967 ebendort.

Spätestens seit MORTENSENS (1930) vergleichender Morphologie der Klimazonen zwischen den Formen in Chile und Spitzbergen ist das Problem der Konvergenz in das Blickfeld der Geomorphologie gerückt. Wie PRIESNITZ (1979) in einem Überblick über die Konvergenzforschung herausgestellt hat, ist der Begriff ‚Konvergenz‘ nicht einheitlich in der Literatur verwendet worden. Eine einsichtige Umschreibung von geomorphologischer Konvergenz hat BOESCH (1962, S. 52) vorgeschlagen: „Bei den Konvergenzen handelt es sich um eine grundsätzlich andere Erscheinung (sc. als Homologien). Wir finden sie dann, wenn durch Formenwandel innerhalb verschiedener Entwicklungsreihen Formen entstehen, die einander ähnlich sind. Dabei dürfte die Ähnlichkeit in den meisten Fällen die äußere Gestalt, die Form an sich, betreffen; in anderen Fällen kann sie sich auch auf das Material und die Verbandsverhältnisse beziehen. Trotz dieser Ähnlichkeit können die Formen einander aber morphogenetisch nicht zugeordnet werden.“ PRIESNITZ (1979) hat in Anlehnung an Überlegungen von MECKELEIN (1965), dargelegt, daß es neben solcher Konvergenz der Formen auch Konvergenzen der Prozesse, die die Form erzeugen, geben könne (vgl. Fig. 1). Phänotypische Ähnlichkeiten zu erkennen, ist an sich schon ein reizvolles geomorphologisches Anliegen. Fast noch wichtiger ist das in Rechnung Stel-

* Schriftliche Fassung eines Vortrags, gehalten auf dem 42. Deutschen Geographentag in Göttingen am 5. 6. 1979 in der Fachsitzung 11 „Das Problem der Formenkonvergenz in der Geomorphologie“ (Leitung: W. Meckelein, Stuttgart, und W. Klaer, Mainz). Einige Anregungen aus dieser Fachsitzung gehen in die Ausführungen ein. Im Text wird auf sie verwiesen.

3920

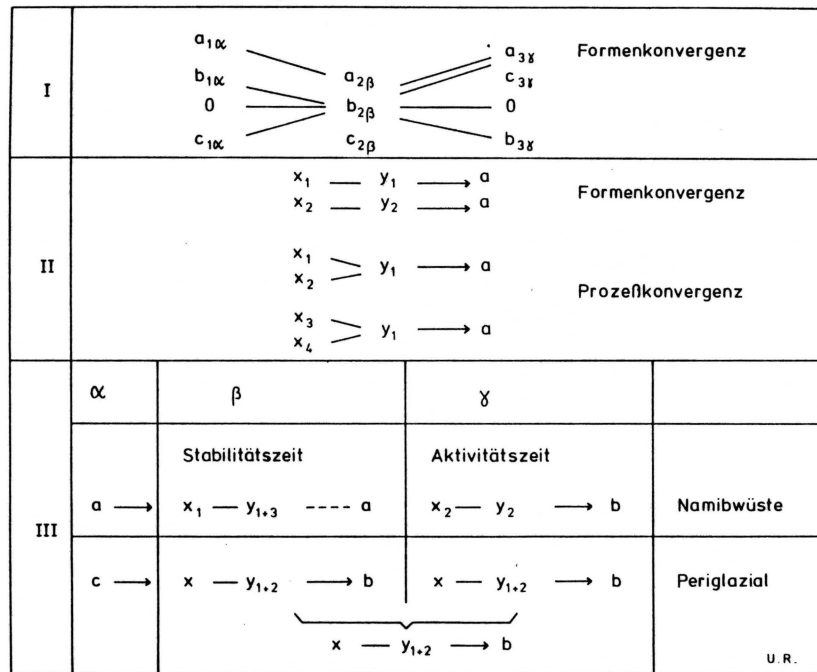


Fig. 1. Auffassungen über geomorphologische Konvergenzen in graphischer Darstellung. — I = BOESCH (1962), II = PRIESNITZ (1979), III = Ergebnisse des Autors für die Namib; a, b, c = Formen, x = Varianz i. S. von BÜDEL (1961) oder Faktor bei PRIESNITZ (1979), y = Prozeß, α, β, γ = Zeitabschnitte.

len von Konvergenzen für die Theoriebildung in der Geomorphologie: „Selbst dann, wenn im Moment nur *eine* Erklärung möglich erscheint, muß bei einer genaueren Untersuchung immer noch eine weitere, unbekanntere Entwicklungsreihe, welcher die betrachtete Form angehören könnte, mit einbezogen werden“ (BOESCH 1962, S. 53).

In der Namibwüste sind folgende Kleinstformen i. S. von KUGLER (1964) bzw. Kleinstformen erzeugende Prozesse zu beobachten: Tafoni, Wabenverwitterung, Taurillen, Eisenoxidrinden — Desquamation, Abrusen; außerdem autochthone Schuttdecken als Klein- und Mittelformen. Sie sind dort von LOGAN (1960) und BESLER (1972) bereits untersucht worden. Sie zählen zum Formenschatz der Wüsten (MORTENSEN 1927). Unter dem Gesichtspunkt der Konvergenz der Formen bzw. der Formungsprozesse sind derartige Phänomene ganz gemäß dem klimazonalen Ansatz von MORTENSEN (1930) im Vergleich zum polar-periglazialen bzw. hypsometrisch-periglazialen Milieu in der Literatur diskutiert worden (MECKELEIN 1965, 1974, KAI-

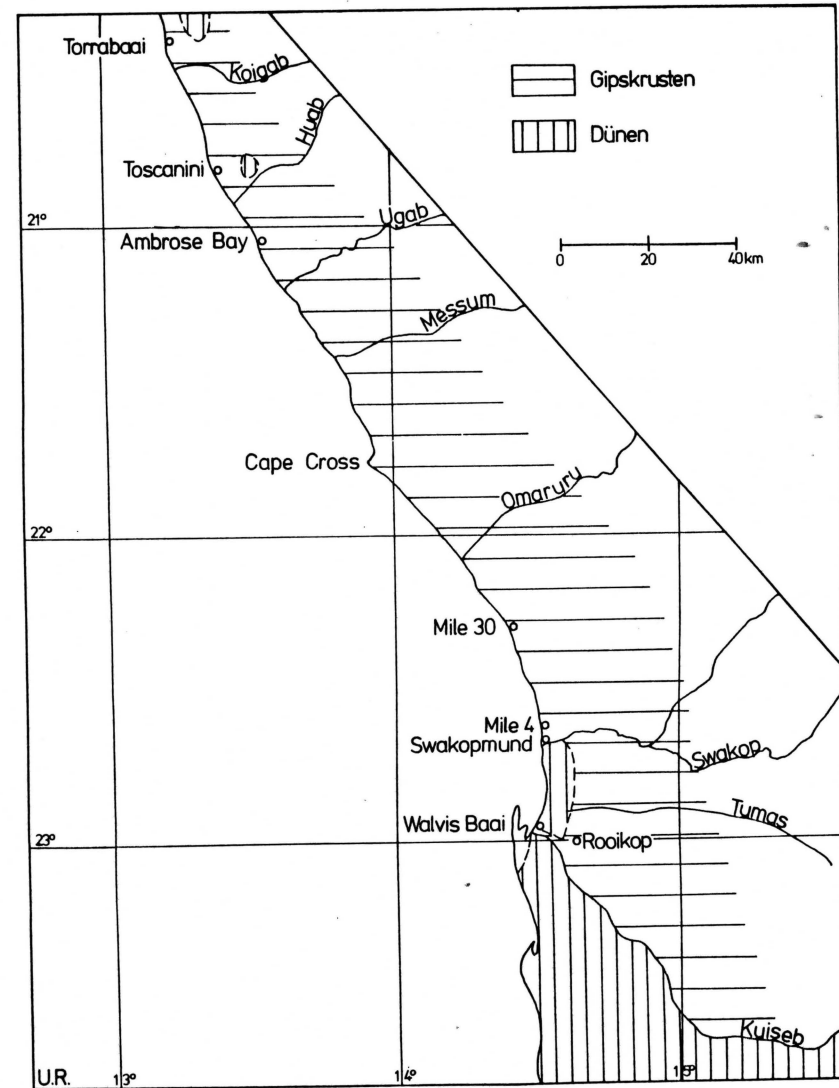


Fig. 2. Verbreitung von Gipskrusten im Untersuchungsgebiet.

SER 1970, 1973, HÖVERMANN 1972). In diese Diskussion soll nachfolgend nicht eingegriffen werden, obwohl dies durchaus möglich wäre¹.

Die Aufmerksamkeit soll hier auf folgendes Konvergenzphänomen zwischen Namibwüste und periglazialen Milieu gelenkt werden — wobei die

Tatsache der Konvergenz vorausgesetzt werden soll —: auf die *Produktion von scherbigem Schutt*, die in der Namibwüste verbreitet an das Auftreten von Gipskrusten geknüpft ist, im periglazialen Milieu an das Auftreten von Frostwechsel (BÜDEL 1969). Im Zuge der Betrachtung dieses Details soll dargelegt werden, daß die Betrachtungsebene ‚Konvergenz‘ ein fruchtbares heuristisches Prinzip liefert; denn in dieser Ebene können einerseits Grundprinzipien der fluvialen Formung in der Namibwüste herausgestellt werden, andererseits kann der Begriff der Konvergenz selbst problematisiert werden. Im Vorgriff sei betont: Beim Nachdenken über Konvergenzen in der Geomorphologie (zuletzt PRIESNITZ 1979) ist der Faktor *Zeit* sowohl für Prozeßkonvergenzen als auch für Formenkonvergenzen zu wenig kritisch gemustert worden in Hinsicht auf die seit ROHDENBURG (1970) wieder diskutierte grundsätzlich verschiedene Möglichkeit von morphodynamischen Stabilitäts- und Aktivitätszeiten.

Die Darlegungen erfolgen in folgenden Schritten: Verbreitung von Gipskrusten, Zuordnung von Gipskrusten zu genetisch verschiedenen Gesteinen, Zuordnung von Gipskrusten zu verschiedenen alten Reliefteilen, Konsequenzen für die Morphologie der Namib, Konsequenzen für Konvergenzen.

2. Verbreitung von Gipskrusten in der Namib

Fig. 2 zeigt kleinmaßstäbig die Verbreitung von Gipskrusten in mittlerer und nördlicher Namib. Nach eigenen Beobachtungen bzw. BESLER (1972) treten Gipskrusten bis 600—800 m ü. M. nördlich des Namiberg auf. MARTIN (1963) hat darauf hingewiesen, daß zwischen der Verbreitung der Gipskrusten einerseits und der landwärtigen Einwirkung der Küstenebel andererseits ein Zusammenhang bestehen könne. Die Anlieferung von Schwefel könne mit H₂S-Exhalationen aus den Auftriebswasserkörpern vor der Namibwüste zusammenhängen. Wie BESLER (1972) ausführt, ist dies zwar denkbar, müssen aber zwischen Schwefelanlieferung durch Nebelniederschlag und Kalziumsulfatbildung Zwischenschritte über die Bildung schwefliger Säure oder Schwefelsäure zusätzlich angenommen werden.

3. Gipskrusten in Zuordnung zum Gestein

Aus Tab. 1 ist ersichtlich, daß in unterschiedlichen Sedimentationsmilieus gebildete Sedimente und anstehendes Grundgebirge vergipst sein können. Außerdem ist ersichtlich, daß die Gipsgehalte weit streuen. Schließlich wird deutlich (z. B. Profil 42, 44, 68), daß innerhalb eines Profils die Vergipsung genetisch verschiedene Sedimente und/oder Anstehendes erfassen kann². Diese Beziehungen machen zweifelsfrei klar, daß die Vergipsung nicht *syndimentär*, sondern *postsedimentär* erfolgt sein muß.

Rein äolische Sedimente bestehen a priori nur aus Feinerde. Marin-lito-

Tabelle 1. Ausgewählte Gipskrusten in Zuordnung zu den Sedimentationsmilieus der vergipsten Sedimente

Probennummer	CaSO ₄ · 2 H ₂ O (Vol %)	Sedimentationsmilieu	Mächtigkeit (cm)	Lokalität
94 II	53.80	fluvial	> 20	Toscanini
111 I	23.97	fluvial	70	Messumündung
111 II	7.89	fluvial	65	Messumündung
113 I	0.82	fluvial	45	Messumündung
113 IV	0.78	marin-litoral	5	Messumündung
44 II	27.1	marin-litoral	19	Mile 30
44 III	16.6	marin-litoral	38	Mile 30
44 IV	16.1	Biotitschiefer	> 11	Mile 30
49 I	22.4	marin-litoral	95	Mile 30
49 II	14.5	marin-litoral	> 60	Mile 30
31 I	3.8	fluvial	17	Mile 4
42 I	30.0	fluvial	60	Mile 4
42 II	0.4	äolisch	16	Mile 4
42 V	6.7	fluvial	6	Mile 4
54 I	> 80.0	fluvial	34	mittlerer Tumas
68 I	21.8	marin-litoral	39	Roikop
68 II	0.8	fluvial	11	Roikop
68 III	0.4	fluvial	> 29	Roikop

rale und fluviale Sedimente können Kiese und Steine i. S. der bodenkundlichen Körnungsklassifikation (SCHLICHTING/BLUME 1966) enthalten (Brandungsgesirle, grobe Schotter). Es zeigt sich (Photo 1.), daß im Zuge der Gipskrustenbildung die Kiese und vor allem Steine zu scharfkantigem Schutt zersprengt werden können. Wir haben darauf schon früher hingewiesen (RUST/WIENEKE 1973). An der Skelettküste am Koigabrivier ist zu beobachten (Photo 2.), wie gipshaltige Lösungen lamellar in Karroobasalte unter vergipsten Terrassensedimenten (Photo 4.) eingedrungen sind und den Basalt in scharfkantige Scherben zerlegen. Im Sinne der oben von BOESCH (1962) gegebenen Definition liegt hier eine Konvergenz zur Produktion von Frostschutt, d. h. zum ‚Material‘ vor.

4. Gipskrusten in Zuordnung zum Relief

Die Geochronologie der Reliefentwicklung der küstennahen Zentralen Namib (WIENEKE/RUST 1975, vgl. dort Tab. 1) bzw. Flächennamib (HÖVERMANN 1978) ist in ihren Grundzügen bekannt. Die im Prinzip zunächst relative Altersfolge der Reliefteile ist teilweise radiometrisch gestützt (im Rahmen der ^{14}C -Datierbarkeit).

Fig. 3 dokumentiert die Situation nach dem Modell der Lokalität Mile 30 (nördlich Swakopmund). Sie ist — in ähnlicher Weise — so bis zur Skelettküste verfolgbar, sofern nicht äolische Formung zusätzlich wirksam geworden ist (vgl. Anm. 7). Für die hier diskutierte Frage wichtig ist die Zuordnung der Vergipsung zum Relief: Die Vergipsung erfaßt verschieden alte Reliefteile.

Am vorgelegten Idealprofil (Fig. 3) läßt sich dies darlegen. Bei P sind innerwülm-marine Sedimente (Fauna und Sande, diese auf Grundgebirge) (= Profil 44 in Tab. 1) vergipst, d. h. die Vergipsung erfolgte Post-Innerwülm. Bei Q sind marin-litorale Sedimente (Brandungssedimente) eines älteren Hochstandes (i-marine) vergipst, wobei — wie in cap. 3 dargelegt — Brandungsgesirle zersprengt worden sind. Die bei Q vergipsten Sedimente (!) bilden auf Grundgebirge eine Stufe oberhalb des fluvial geformten Hanges zwischen Q und P. Die Vergipsung bei Q folgt also der marinen Sedimentation bei Q zeitlich nach, ist aber bereits gegeben als die Hangbildung unterhalb Q erfolgt. Auf den unterhalb Q gebildeten Hang transgredierte das Meer, dessen Sedimente bei P vergipst sind.

Das Fazit ist eindeutig: Es existieren hier unterschiedlich alte Gipskrusten bzw. aus dem räumlichen Nebeneinander von P und Q ist zu schließen, daß bei Q mindestens zweimalige Vergipsung geherrscht hat.

Am Koigab (Photo 3) sind fluviale Sedimente auf Terrassen sowie an Hängen (d. h. Hangschuttdecken) zwischen Terrassen bzw. Terrasse und aktuellem Flußbett vergipst. Die groben Komponenten der hier fluvialen Sedimente sind ebenfalls häufig zerplatzt. Auch hier gilt das gleiche für die Gipskrusten, diesmal aus terrassenmorphologischer Sicht.

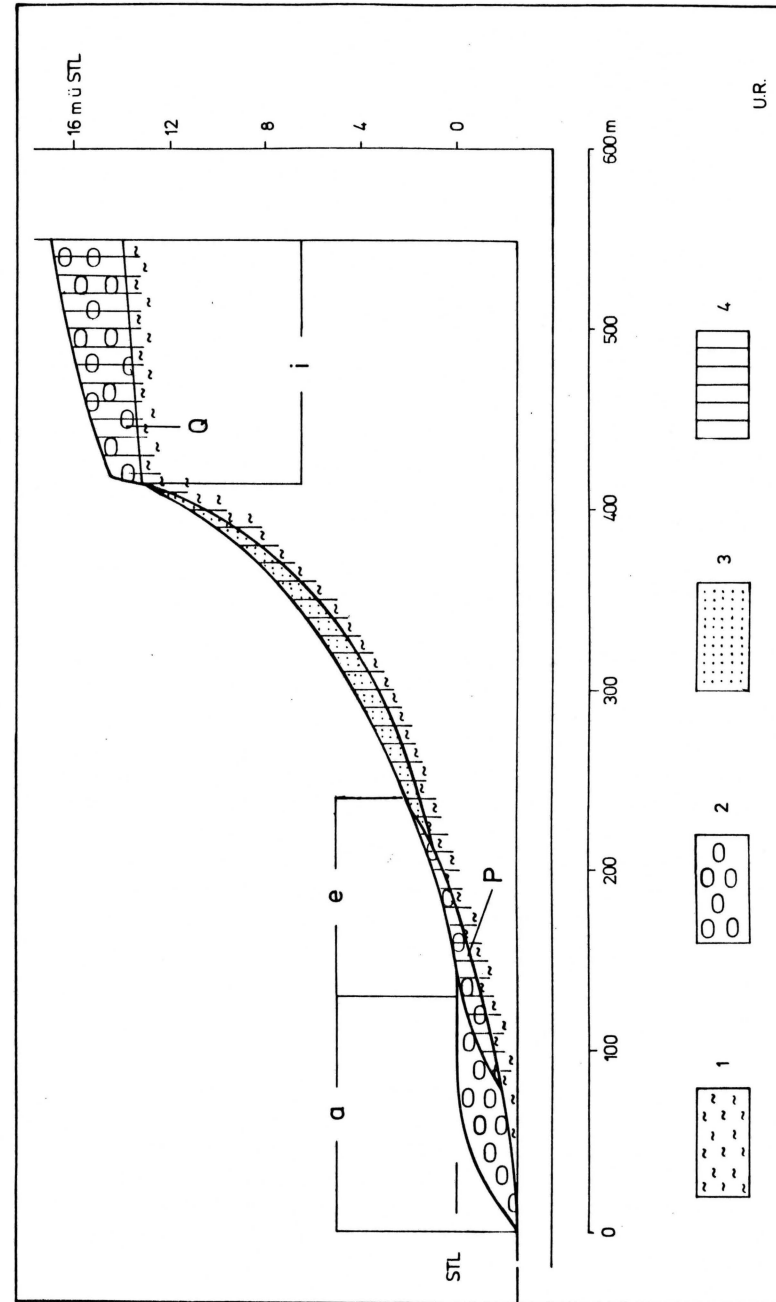


Fig. 3. Das Relief an der Lokalität Mile 30 als Modell für rein aurochthon fluvial geschaffene Reliefs im Küstenbereich von Zentraler Namib und Skelettküste. — 1 = Innerwülm-Litoral, 1 = (vielleicht) älter als 30 000 BP (Radiokarbonalter) (Distanzen projiziert auf Achse senkrecht zur Küstenlinie).

5. Konsequenzen

5.1. Gipskrusten und Morphodynamik in der Namib (ein ökomorphodynamischer Ansatz)

Die gesteinsaufbereitende Wirkung von Gips Sprengung als einer Möglichkeit der ‚Salzsprengung‘ ist in der Literatur unbestritten. Die Auffassungen sind allerdings verschieden bezüglich der tatsächlich wirkenden Kräfte und lassen sich stichwortartig zusammenfassen: Hydratationssprengung (etwa MORTENSEN 1933, WINKLER/WILHELM 1970), Kristallwachstum (Zusammenfassung in EVANS 1970), thermische Expansion (etwa COOKE/WARREN 1973). In der gesteinsaufbereitenden Wirkung der Salzsprengung wird eine Konvergenz der Prozesse (i. S. von PRIESNITZ 1979) zur Frostsprengung erkannt (MECKELEIN 1965, KAISER 1970). Diese Wirkung kann — nach den eigenen Darlegungen — für die Namibwüste nur bestätigt werden.

Die Geländebefunde zeigen ein weiteres: Zwar werden Grobkomponenten von Sedimenten zersprengt (Photo 1) bzw. wird Anstehendes von Gips durchsetzt (Photo 2), die Sedimentkörper *als ganze* — egal welcher Provenienz — werden jedoch durch Gipsverkrustung verfestigt. Gipskrustenbildung erzeugt also — trotz Aufbereitung von Einzelkomponenten — aus Lockergestein Festgestein³. Morphologisch bedeutet dies, daß Gipskrustenbildung die von ihr erfaßten Reliefeile stabilisiert⁴.

Damit die beobachtbare, durch Gipskrustenbildung geleistete Aufbereitung von Gestein reliefwirksam werden kann, bedarf es der *Zerstörung der Gipskruste*. Erst wenn die Gipskruste zerstört wird, kann der scherbige Schutt freigesetzt und — unter der Annahme fluvialer Formung — für Erosions- und Denudationsprozesse eingesetzt werden. Der Wind ist nur im Kleinstformenbereich imstande, mit Schleifmaterial, sofern verfügbar, eine Kruste zu überformen. Dies ist in der Namib zu beobachten. Am Rande aktueller Gerinnebetten ist ‚mechanische‘ Bearbeitung von Gipskrusten zu beobachten (Photo 3). Auch dies sind singuläre Stellen. Die das Relief ubiquitär stabilisierenden Gipskrusten sind so insgesamt nicht zerstörbar (wie ihre Existenz selbst anzeigt).

Bleibt für die ‚Zerstörung‘ von Gipskrusten nur der Prozeß der *Gipslösung*. Dieser ist traditionell Forschungsgegenstand der Karstmorphologie. Deren Ergebnisse gilt es zu berücksichtigen, um für die Namibwüste die ökomorphodynamischen Konsequenzen aufzuzeigen.

PRIESNITZ (1969 a) hat zu recht in der Betrachtungsebene ‚Karstprozesse‘ die Gipskarstbildung in den Zusammenhang einer Morphologie der Auslaugung gestellt. Er hat außerdem (PRIESNITZ 1969 b) folgendes klargelegt: Ordnet man die Karstphänomene in einem Diagramm den Koordinaten ‚Klima‘ und ‚Karstgunst des Gesteins‘ zu, dann ergibt sich die klare Beziehung, daß Gips in aridem Klima nicht verkarstungsfähig ist.

Das frostfreie Klima der nebelreichen Küstenwüste Namib (i. S. von BESLER 1972) ist vollarid (z. B. Walvis Baai, Fig. 4). In diesem Klima kann

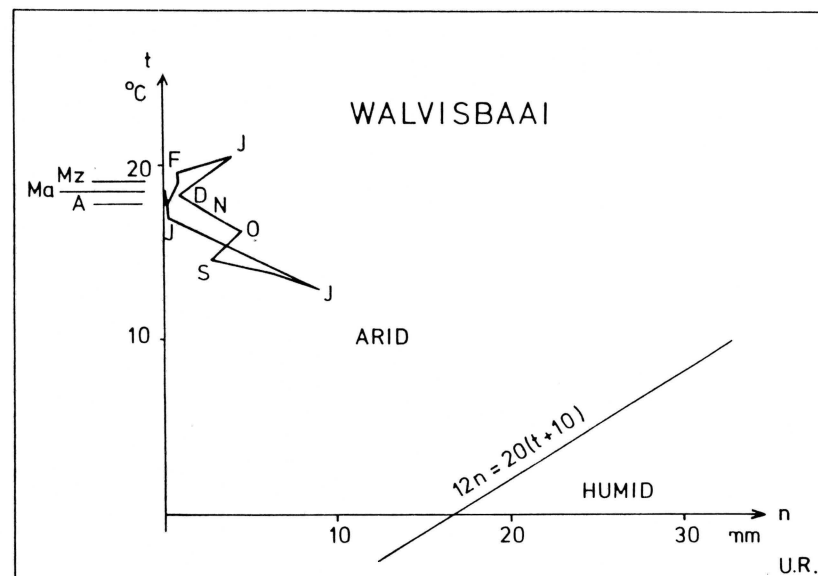


Fig. 4. Klimogramm von Walvisbaai. Trockengrenze nach LAUER (1960). — Nach BESLER (1972) beträgt das Verhältnis von potentieller Evapotranspiration zu Niederschlag (Regen + Nebel) ca. 22 : 1.

keine Gipslösung auf grundwasserunbeeinflussten Reliefeilen erwartet werden — und sie ist auch nicht zu beobachten.

Die Karstliteratur (PRIESNITZ 1969 a, JAKUCS 1977) gibt experimentell nachgewiesene Daten über Lösungsgeschwindigkeiten, Löslichkeit usw. von Gips. In Tab. 2 sind daraus berechnete, für Gipslösung erforderliche Wassermengen (in mm Niederschlag) zusammengestellt. Die Aussagen sind eindeutig. In bezug auf das derzeitige Namibklima sind dies völlig utopische Werte. Es sind auch sonst klimatisch kaum vorstellbare Werte, wenn man sie etwa auf 1 Jahr bezieht.

Da, wie dargelegt, Gipslösung notwendige Bedingung für eine Destabilisierung der vergipsten Sedimente ist und zudem Terrassenreliefs (Photo 3, 4) mit gipsverkrusteten Hangschuttdecken (!) existieren (auch das Fluvial am Hang zwischen P und Q in Fig. 2 kann als ‚Hangschutt‘ klassifiziert werden), ist zu folgern, daß in der Namibwüste ‚gipskarstgünstige‘ Klimate geherrscht haben müssen⁵. Verknüpft mit solchen Klimaten herrschte Talbildung im Bereich der autochthonen Namibflüsse⁶, d. h. fluviales Einschneiden von braided rivers und Hangbildung mit Hangschuttdecken. Verknüpft mit solchen ‚gipskarstgünstigen‘ Klimaten ist also morphodynamische Aktivität (i. S. von ROHDENBURG 1970) im Bereich des Klein- und Mittelformenschatzes (KUGLER 1964). Noch pointierter: Morphodynamische

Tabelle 2.

Temperaturabhängige Gipslösung (reiner Gips)					
Temperatur ° C	Lösungsmittel	Volumen Gips cm ³	Wassermenge 10 ⁴ mm/cm ²		
30	aqua dest.	10	10		
30	Regenwasser	10	18.3		
Temperaturabhängige Gipslösung (konkrete Krusten in der Namib)					
Proben- nummer	Gipsgehalt Vol %	Lösungsmittel	Mächtigkeit cm	Temperatur ° C	Wassermenge 10 ⁴ mm/cm ²
42 I	30	aqua dest.	60	18	16.37
		"		25	15.83
31 I	3.8	"	17	18	3.03
		"		25	2.93

Für Gipslösung erforderliche Wassermenge (in mm/cm²). Berechnet nach Werten in JAKUSC (1977). Vereinfachte Annahme, daß Löslichkeit nicht durch Anwesenheit anderer Salze verändert wird

Aktivität ist im Verbreitungsgebiet der Gipskrusten in der Namib im Bereich der autochthonen Gerinne nur unter von heute grundsätzlich verschiedenen Umweltbedingungen vorstellbar („Feucht-Aktivität“ i. S. von WIENEKE/RUST 1973).

Im Idealfalle ergibt sich für die fluviale Reliefentwicklung des Untersuchungsgebietes ein Alternieren von Phasen der Formungsruhe (Gipskrustenbildung) und Formung (Gipslösung, Abtragung). Dieser Idealfall ist für die Lokalität Mile 30 nachzuweisen (RUST/WIENEKE 1976, Abb. 6. 1.). Da jedoch der Wind als Agens in der Namibwüste hinzutritt, wird dies-Idealbild räumlich entscheidend modifiziert.

5. 2. Zum Konvergenzproblem

Wenn die Darlegungen zur Morphodynamik stichhaltig sind, folgt, die Auffassungen über Konvergenzen von Formen und Prozessen noch einmal zu überdenken (vgl. Fig. 1). Es geht darum, die ökomorphodynamisch grundverschiedenen „Zeiten“ — Stabilitätszeit, Aktivitätszeit (gemäß ROHDENBURG 1970)⁸ — in die Konvergenzbetrachtung einzubringen. Dies erscheint sinnvoll, da sich doch die Beobachtungen mehren, daß konkrete Reliefentwicklung vertieft mit Hilfe dieses Gegensatzpaares beschrieben werden kann (ROHDENBURG 1971, ANDRES 1972, GRUNERT 1972, ROHDENBURG/SABELBERG 1973, RUST/WIENEKE 1976).

Den Hintergrund mögen die Darlegungen von BOESCH (1962) und PRIESNITZ (1979) (vgl. cap. 1) geben. Es ist nicht ganz einfach, die präzisen Ausführungen dieser beiden Autoren graphisch vergleichend zu veranschaulichen. BOESCH betrachtet Entwicklungsreihen von Formen (a, b, c in Fig. 1), bei welchen „in einem bestimmten Zeitpunkt, nämlich β“ (S. 53) deren homologe Formen konvergieren können. Implizit kennzeichnen also auch die Indices α und γ Zeitangaben, obwohl die Form a_{1α} in ihrer Entwicklung zu a_{2β} einen anderen Zeitraum benötigen kann als b_{1α} in ihrer Entwicklung zu b_{2β}. PRIESNITZ (1979) spart die Zeit zwar inhaltlich nicht aus — denn selbstverständlich bedarf es der Zeit, damit bei gegebener Faktorengruppierung x eine Prozeßkombination y eine Form a erzeugt. Aber er widmet — ebensowenig wie BOESCH — sein spezielles Augenmerk der Zeit. Seine Beziehungen können jeweils einem der BOESCHSchen Zeitabschnitte α oder β oder γ zugeordnet werden.

Die eigenen Ergebnisse sind in Fig. 1 ebenfalls veranschaulicht, wobei die Zeit (Abschnitte α, β, γ) den Rahmen abgibt und versucht wird, die Befunde aus der Namibwüste mit denen aus periglaziale Milieu zu vergleichen. Das eigene Beispiel ist also viel konkreter angelegt als die allgemeineren Beziehungen der beiden anderen Autoren.

In der Wüste sei β eine Stabilitätszeit, γ eine Aktivitätszeit, aus α (etwa einer Aktivitätszeit) sei die Form a überkommen. Gipssprengung bewirke Materialaufbereitung (y₁), Gipskrustenbildung gleichzeitig Verfestigung (y₂), Gipslösung, gravitative, fluviale Umlagerung bewirke Materialverfrachtung (y₃). Im Periglazial bewirke Frostwechsel Materialaufbereitung

(y_1), das aufbereitete Material sei sogleich verfrachtbar (gravitativ, solifluidal, Abspülung = y_2). Während der Zeitabschnitte β und γ mögen sich die Faktoren (x_3)⁹ und Prozesse (y_{1+2}) im Periglazial nicht ändern ($\hat{=}$ zusammenfassende Klammer in Fig. 1)¹⁰.

Der Vergleich von Wüste und Periglazial ist sehr aufschlußreich. In der Zeit β herrscht eine Prozeßkonvergenz zwischen den Teilprozessen der Gips- und Frostsprengung (y_1), aber keine Formenkonvergenz. In der Zeit γ herrscht eine Prozeßkonvergenz zwischen der Materialverfrachtung (y_2) sowie Formenkonvergenz (b). Die Prozeß- und Formenkonvergenz in γ (Aktivitätszeit) ist jedoch nur denkbar, wenn sich in der Wüste der Faktor x_1 zu x_2 wandelt (Klimaänderung). Es gäbe auch in γ keine Formenkonvergenz, wenn für das Periglazial von β abweichende Bedingungen für x und y angenommen werden würden.

Die Formenkonvergenz ($a \rightarrow b$ bzw. $c \rightarrow b$) — konkret etwa braided river-Gerinnebetten, Hangschuttdecken — geschieht in der Namib strikt in zwei aufeinanderfolgenden zeitlichen Schritten (β , γ), da die Teilprozesse y_1 und y_2 sich ökomorphodynamisch gegenseitig ausschließen ($x_1 \neq x_2$). Da im Gegensatz dazu die Teilprozesse y_1 und y_2 im Periglazial synchron ablaufen, kann die Form b bereits in der Zeit β aus c hervorgegangen sein. Dies hat eine wichtige Konsequenz für den *klimamorphologisch-zonalen Vergleich zwischen Wüste und Periglazial*. In der Zeit γ mögen zwar a und c zu b konvergieren, aber die Formungsleistungen zwischen Wüste und Periglazial müssen sich quantitativ unterscheiden. In der Wüste müssen sie im Prinzip weniger effektiv sein, da — im Beispiel — die Zeit β (Stabilitätszeit) dort für Formung ganz ausfällt¹¹.

Der Gedankengang sei abschließend auf die Problemstellung (cap. 1) zurückgeführt, die Produktion von scherbigem Schutt als Konvergenzphänomen zwischen Namibwüste und Periglazial zu betrachten. Es zeigt sich, daß diese Problemstellung zum einen zu grundsätzlichen Einsichten über Aspekte der Reliefbildung in der Namib führt, zum zweiten wichtige klimamorphologisch-zonale Unterschiede erkennen läßt, zum dritten den Blick darauf lenkt, die Zeit bei Konvergenzüberlegungen ins Kalkül zu ziehen. Der einleitend mit BOESCH (1962) erwähnte hohe Stellenwert von Konvergenzen für die Theoriebildung in der Geomorphologie kann nur bestätigt werden. BOESCHS diesbezügliche Aussage kann noch abgewandelt werden: Lassen sich Konvergenzen feststellen, zwingt dies dazu nachzuspüren, warum diese *trotz* unterschiedlicher Entwicklungsreihen zustande gekommen sind.

Zusammenfassung

Unter dem Gesichtspunkt der Konvergenz von Formen und Prozessen werden geomorphologische Befunde aus der Namibwüste betrachtet. Dabei stehen nicht beobachtbare Konvergenzen an sich im Vordergrund des Interesses, sondern die Betrachtungsebene ‚Konvergenz‘ als heuristisches Prinzip. Die Bildung von scharfkantigem Schutt durch Gipsprengung wird verglichen

mit derjenigen durch Frostsprengung im periglazialen Milieu. Im periglazialen Frostwechselklima laufen Materialaufbereitung und Materialverfrachtung quasi gleichzeitig ab. In der Namibwüste ist die an Gipsprengung gebundene Materialaufbereitung mit Gipskrustenbildung verknüpft, durch welche genetisch verschiedene Gesteine einheitlich verfestigt werden. Gipskrustenbildung ist prinzipiell postsedimentär. Die Materialverfrachtung setzt gipskarstgünstiges Klima voraus, das vom derzeitigen vollariden Nebelwüstenklima grundverschieden sein muß. In der Namib müssen daher für Aufbereitung und Verfrachtung zeitlich aufeinanderfolgende, sich gegenseitig ausschließende ökomorphodynamische Bedingungen angenommen werden. Bedeutende Abweichungen zwischen den Formungsbedingungen in der Namibwüste bzw. im Periglazial werden aufgezeigt. Schließlich wird dargelegt, daß der Faktor Zeit für das Verständnis von geomorphologischen Konvergenzen überhaupt pointierter berücksichtigt werden muß.

Danksagung

Ich danke der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für finanzielle Unterstützung der Forschungen. Mr. de la Bat, Director Nature Conservation and Tourism Windhoek, sowie seinen Mitarbeitern danke ich für die Erlaubnis, an der Skelettküste arbeiten zu können.

Anmerkungen

¹ Hier nur soviel. In Übereinstimmung mit der genannten Literatur kann festgestellt werden, daß auch in der frostfreien Namib Desquamation, Abgrusen, Schuttdeckenbildung zu beobachten sind. Dies sind Vorgänge der Produktion von Lockermaterial. Alle diese Phänomene existieren neben der nachfolgend ausgeführten Wirkung von Gipsprengung auch. Dies nur, um nicht den Eindruck zu erwecken, als solle zu rigoristisch argumentiert werden.

² Ausführliche Profilbeschreibung der Profile aus der Zentralen Namib in Tabelle 1 in RUST/WIENEKE (1976). Die Sedimentationsmilieus werden ebenda diskutiert. Eine Arbeit über die Skelettküstenprofile befindet sich in Vorbereitung.

³ Eine wichtige Formulierung, die Herr Dr. K. Priesnitz, Göttingen, in einem Gespräch zum dargelegten Problem entwickelt hat.

⁴ In der wissenschaftlichen Diskussion treten bisweilen Verständigungsschwierigkeiten auf. Man meint das gleiche, argumentiert jedoch in verschiedenen Betrachtungsebenen. Man kann die Aussage, aus Lockergestein werde Festgestein, durchaus verschieden werten. Man könnte sagen, es ändert sich die ‚morphologische Härte‘ des Gesteins (i. S. von MORTENSEN 1949). Die Betrachtungsebene ist ‚Verwitterung‘, denn morphologische Härte impliziert Verwitterungsgeschwindigkeit (vgl. RUST 1970, S. 29). Man könnte sagen, das Sediment wird diagenetisch verfestigt. Die Betrachtungsebene ist ‚Gesteinsbildung‘. Man könnte schließlich sagen, die Umweltbedingungen, das Milieu, ändern sich: z. B. bei P in Fig. 2 von marin-litoralem Milieu zu einem Milieu, in welchem Vergipung möglich ist. Dies ist bezüglich der morphodynamischen Konsequenzen die ‚ökomorphodynamische‘ Betrachtungsebene. In ihr wird nachfolgend argumentiert.

⁵ Über deren Eigenschaften läßt sich nur sinnieren: feuchter, mit der Tendenz im Jahresgang gleichmäßig? Kühler und dann geringere Evapotranspiration? Typ zyklonale Niederschläge? — Zeitlich fallen die Phasen solcher Klimate zusammen mit eustatischen Meeresspiegeltiefständen (WIENEKE/RUST 1975).

⁶ Die allochthonen Flüsse wie Kuiseb, Swakop oder Ugab werden auch von den ökomorphodynamischen Bedingungen des höheren Rücklandes gesteuert (RUST 1975).

⁷ Die Windreliefs des Untersuchungsgebietes werden a. a. O. vorgestellt werden. Der Einfluß des Windes auf die Reliefbildung soll deshalb hier nur erwähnt werden, jedoch nicht weiter diskutiert werden.

⁸ Dieses Gegensatzpaar abstrahiert auf hoher synthetischer Ebene. Stabilitätszeiten in den außertropischen Mittelbreiten sind ökomorphodynamisch grundverschieden von Stabilitätszeiten in den ariden Tropen usw.

⁹ Darunter können die Varianzen i. S. von BÜDEL (1961) und BREMER (1965) verstanden werden, wie Petrovarianz, Tektovarianz, Klimavarianz, Altrelief.

¹⁰ In cap. 5. 1. wurde ausgeführt, daß Salzsprengung eine Konvergenz der Prozesse zu Frostsprengung aufweise (MECKELEIN 1965, KAISER 1970). Selbstverständlich sind die die Frostsprengung bewirkenden Einflußgrößen (ROHDENBURG 1971) verschieden von denen, die Salzsprengung bewirken. Der Ansatz, Konvergenzen zu betrachten, bedeutet stets, sich darüber im klaren zu sein, daß im einzelnen genetische Verschiedenheit zum ähnlichen Erscheinungsbild führt (BOESCH 1962). In Fig. 1 werden deshalb die — in den einzelnen Teilprozessen grundverschiedenen, in ihrer Wirkung aber ähnlichen („Sprengung“) — Prozesse Gipsprengung und Frostsprengung mit dem gleichen Prozeßsymbol γ_1 gefaßt. Denn Fig. 1 soll Konvergenzen veranschaulichen.

¹¹ Z. B. bei P in Fig. 2 ist morphologisch seit ca. 26 000 Jahren nichts passiert. Das e-Marin liegt dort als vergipster Reg, wie es seinerzeit vom Meer sedimentiert worden ist. — Hier wurden nur Ausführungen zur Geomorphologie vorgelegt. Die aus ökomorphodynamischer Sicht gewonnenen Erkenntnisse zur Reliefbildung lassen jedoch auch andere Eigenheiten des Milieus der Küstennamib verständlich erscheinen. Der derzeitige Stabilitätszustand im Bereich der Gipskrusten (s. Fig. 2) ist auch dadurch zu kennzeichnen, daß „Verwitterung“ überhaupt offensichtlich höchst langsam vonstatten geht. Bekanntlich halten sich Fahrspuren über Jahre. Aber auch eine Aufarbeitung von menschlichem Müll jeglicher Art findet praktisch überhaupt nicht statt. So ist es nahezu unmöglich, ohne Schuhe in einem ein paar hundert Meter breiten Saum entlang der menschenleeren Küste zu laufen wegen der Abfälle, die dort von wenigen fischenden Touristen im Laufe der Zeit angehäuft worden sind. Die für den Fremdenverkehr gesperrte Skelettküste ist ab dem Ugabrivier frei von solchen Abfällen. D. h. die Namib im Stabilitätszustand ist durch ein für Umweltverschmutzung sehr empfindliches Milieu gekennzeichnet, was den Wüstenbesuchern offensichtlich überhaupt nicht klar ist. In einer verschiedene Milieus vergleichenden Skala der Erträglichkeit von Umweltverschmutzung dürfte dieses Milieu eine extreme Position einnehmen.

LITERATUR

- ANDRES, W. (1972): Beobachtungen zur jungquartären Formungsdynamik am Südrand des Anti-Atlas (Marokko). — Z. f. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 14, 66—80, Berlin-Stuttgart.
- BESLER, H. (1972): Klimaverhältnisse und klimageomorphologische Zonierung der zentralen Namib (Südwestafrika). — Stuttgarter Geogr. Stud., 83, 1—209, Stuttgart.
- BOESCH, H. (1962): Entwicklungsreihen, Homologien und Konvergenzen in der Morphologie. — Hermann von Wissmann-Festschrift, 50—53, Tübingen.

- BREMER, H. (1965): Der Einfluß von Vorzeitformen auf die rezente Formung in einem Trockengebiet — Zentralaustralien. — Tagungsber. u. wiss. Abh. 34. Deutscher Geographentag Heidelberg 1963, 184—196, Wiesbaden.
- BÜDEL, J. (1961): Die Morphogenese des Festlandes in Abhängigkeit von den Klimazonen. — Die Naturwissenschaften, 48, 313—318, Berlin.
- BÜDEL, J. (1969): Der Eisrinden-Effekt als Motor der Tiefenerosion in der exzessiven Talbildungszone. — Würzburger Geogr. Arb., 25, 1—41, Würzburg.
- COOKE, R. U. / WARREN, A. (1973): Geomorphology in Deserts. — 374 S., London.
- EVANS, I. S. (1970): Salt crystallization and rock weathering: a review. — Rev. Géomorph. Dyn., 19, 153—177, Paris.
- GRUNERT, J. (1972): Die jungpleistozänen und holozänen Flußterrassen des oberen Enneri Yebbigué im zentralen Tibesti-Gebirge (Rép. du Tchad) und ihre klimatische Deutung. — Berliner Geogr. Abh., 16, 105—116, Berlin.
- HÖVERMANN, J. (1972): Die periglaziale Region des Tibesti und ihr Verhältnis zu den angrenzenden Formungsregionen. — Göttinger Geogr. Abh., 60 (= Hans-Poser-Festschrift), 261—283, Göttingen.
- HÖVERMANN, J. (1978): Formen und Formung in der Pränamib (Flächen-Namib). — Z. f. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 30, 55—73, Berlin-Stuttgart.
- JAKUCS, L. (1977): Morphogenetics of Karst Regions. — 284 S., Bristol-Budapest.
- KAISER, K. (1970): Über Konvergenzen arider und „periglazialer“ Oberflächenformung und zur Frage einer Trockengrenze solifluidaler Wirkungen am Beispiel des Tibesti. — Abh. 1. Geogr. Inst. FU Berlin N.F., 13 (= Festschrift für J. H. Schultze), 147—188, Berlin.
- KAISER, K. (1973): Materialien zu Geologie, Naturlandschaft und Geomorphologie des Tibesti-Gebirges. — In: Schiffers, H. (Hrsg.): Die Sahara und ihre Randgebiete, Bd. III Regionalgeographie (= Afrika-Studien Nr. 62), 339—369, München.
- KUGLER, H. (1964): Die geomorphologische Reliefanalyse als Grundlage großmaßstäbiger geomorphologischer Kartierung. — Wiss. Veröffentl. Deutsch. Inst. f. Länderkunde N.F., 21/22, 541—656, Leipzig.
- LAUER, W. (1960): Klimadiagramme. — Erdkunde, XIV, 232—242, Bonn.
- LOGAN, R. F. (1960): The Central Namib Desert South West Africa. — Nat. Acad. Sci. — Research Council, Public. 758, 162 S., Washington D. C.
- MARTIN, H. (1963): A suggested Theory for the Origin and a Brief Description of some Gypsum Deposits of South West Africa. — Transact. Proc. Geologic. Soc. South Africa, LXVI, 345—351, Johannesburg.
- MECKELEIN, W. (1965): Beobachtungen und Gedanken zu geomorphologischen Konvergenzen in Polar- und Wärmewüsten. — Erdkunde, XIX, 31—39, Bonn.
- MECKELEIN, W. (1974): Aride Verwitterung in Polargebieten im Vergleich zum subtropischen Wüstengürtel. — Z. f. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 20, 178—188, Berlin-Stuttgart.
- MORTENSEN, H. (1927): Der Formenschatz der nordchilenischen Wüste. Ein Beitrag zum Gesetz der Wüstenbildung. — Abh. Ges. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., NF III, 1—191, Göttingen.
- MORTENSEN, H. (1930): Einige Oberflächenformen in Chile und auf Spitzbergen im Rahmen einer vergleichenden Morphologie der Klimazonen. — Petermanns Geogr. Mitt., Erg.-H. 209 (= Hermann Wagner Gedächtnisschrift), 147—156, Gotha.
- MORTENSEN, H. (1933): Die „Salzsprengung“ und ihre Bedeutung für die regional-klimatische Gliederung der Wüsten. — Petermanns Geogr. Mitt., 79, 130—135, Gotha.

- MORTENSEN, H. (1949): Über die morphologische Härte des Granits. — CR Congr. Intern. Géogr. Lisbonne 1949, Résumés des Communications, 51—53, Lisbonne.
- PRIESNITZ, K. (1969 a): Das Karstrelief des südlichen Harzvorlandes im Lichte neuerer Arbeiten zum System $\text{CaSO}_4 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$. — 5. Intern. Kongr. Speläologie Stuttgart 1969, Abh. Bd. 1, M 35/1—9, München.
- PRIESNITZ, K. (1969 b): Über die Vergleichbarkeit von Lösungsformen auf Chlorid-, Sulfat- und Karbonatgesteinen. — Geol. Rundsch., 58, 427—438, Stuttgart.
- PRIESNITZ, K. (1972): Formen, Prozesse und Faktoren der Verkarstung und Mineralumbildung im Ausstrich salinärer Serien (am Beispiel des Zechsteins am südlichen Harzrand). — Göttinger Geogr. Abh., 60 (= Hans-Poser-Festschrift), 317—339, Göttingen.
- PRIESNITZ, K. (1979): Zur Präzisierung des Konvergenzbegriffes in der Geomorphologie. — Vortrag 42. Deutscher Geographentag Göttingen 1979 (Fachsitzung 11 'Das Problem der Formenkonvergenz in der Geomorphologie').
- ROHDENBURG, H. (1970): Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten statt Pluvial- und Interpluvialzeiten. — Eiszeitalter und Gegenwart, 21, 81—96, Öhringen/Württ.
- ROHDENBURG, H. (1976): Einführung in die klimagenetische Geomorphologie anhand eines Systems von Modellvorstellungen am Beispiel des fluvialen Abtragungsreliefs. — 2. Aufl., 350 S., Gießen.
- ROHDENBURG, H. / SABELBERG, U. (1973): Quartäre Klimazyklen im westlichen Mediterranengebiet und ihre Auswirkungen auf die Relief- und Bodenentwicklung. — Catena, 1, 71—180, Gießen.
- RUST, U. (1970): Beiträge zum Problem der Inselberglandschaften aus dem mittleren Südwestafrika. — Hamburger Geogr. Stud., 23, 280 S., Hamburg.
- RUST, U. (1975): Das Spektrum der geomorphologischen Milieus und der Relief- und topographischen Differenzierung in der Zentralen Namib. — Würzburger Geogr. Arb., 43, 79—110, Würzburg.
- RUST, U. / WIENEKE, F. (1973): Die Rundungsgradanalyse nach Reichelt als Feldmethode in Trockengebieten. — Petermanns Geogr. Mitt., 117, 118—123, Gotha.
- RUST, U. / WIENEKE, F. (1976): Geomorphologie der küstennahen Zentralen Namib (Südwestafrika). — Münchener Geogr. Abh., 19, 74 S., München.
- SCHLICHTING, E. / BLUME, H. P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. — 209 S., Hamburg-Berlin.
- WIENEKE, F. / RUST, U. (1973): Klimageomorphologische Phasen in der Zentralen Namib (Südwestafrika). — Mitt. Geogr. Ges. München, 58, 79—96, München.
- WIENEKE, F. / RUST, U. (1975): Zur relativen und absoluten Geochronologie der Reliefentwicklung an der Küste des mittleren Südwestafrika. — Eiszeitalter und Gegenwart, 26, 241—250, Öhringen/Württ.
- WINKLER, E. M. / WILHELM, E. J. (1970): Salt burst by hydration pressures in architectural stone in an urban atmosphere. — Geol. Soc. America Bull., 81, 567—572, New York.

Univ.-Doz. Dr. Uwe Rust, Institut für Geographie der Universität München, Luisenstraße 37, D - 8000 München 2.



Photo 1. Bei Ambrose Bay (vgl. Fig. 2) existieren marine Sedimente auf Terrassenrestbergen. Sie sind durch Vergipsung verkrustet. Brandungsgerölle sind zu scharfkantigem Schutt zersprengt (Bildmitte) (Photo U. Rust 3/1978).

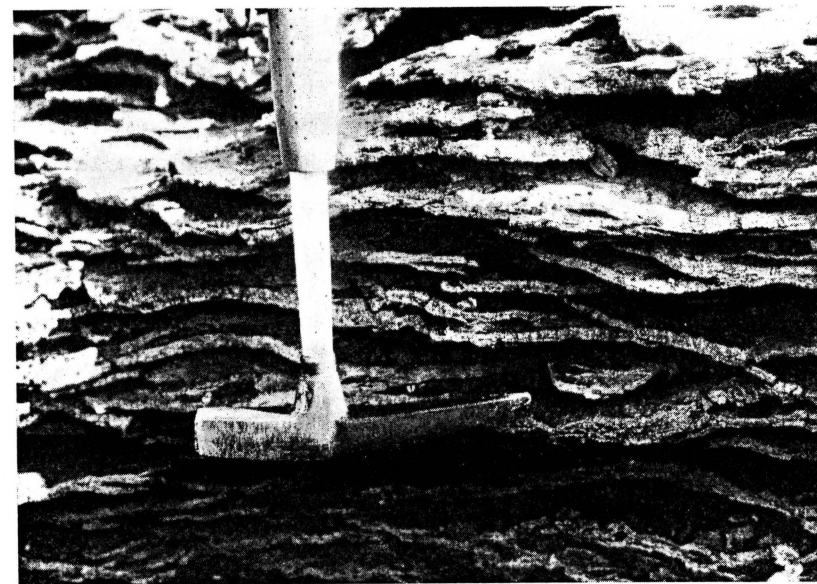


Photo 2. Am Koigabrivier (vgl. Fig. 2) sind gipshaltige Lösungen unter Terrassensedimenten (vgl. Photo 4) in Karroobasalte eingedrungen. Gipsausblühungen zersetzen den Basalt zu scherbigem Schutt (Photo U. Rust 3/1978).

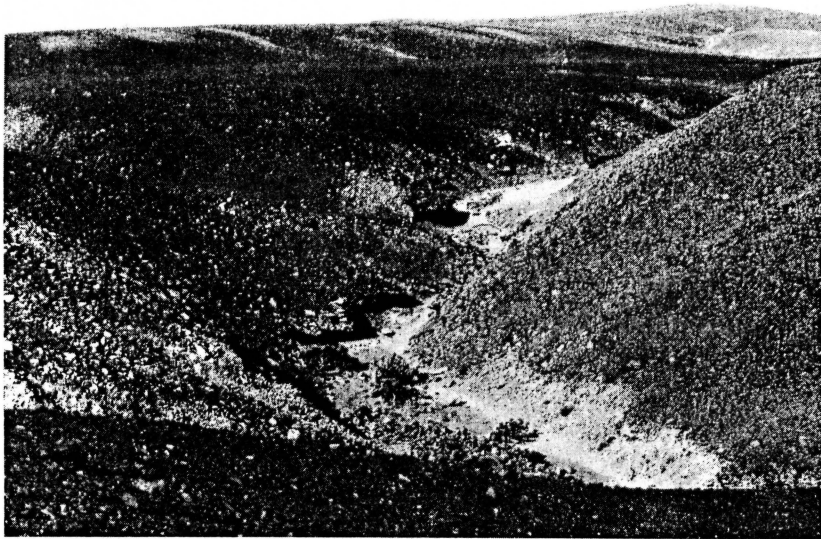


Photo 3. Koigabrivier (vgl. Fig. 2): Terrasse II, im Hintergrund mit Hang gegen Terrasse I abgesetzt. Mittelgrund: Hangschuttdecken ubiquitär von Terrasse II zu Gerinne eines kleinen auf den Koigab ausgerichteten Nebenriviers hinabziehend. Die Sedimente von Terrasse II und die Hangschuttdecken sind gipsverkrustet. Als morphologisch harte Gesteine hängen sie am Hangfuß hohl (Photo U. Rust 3/1978).

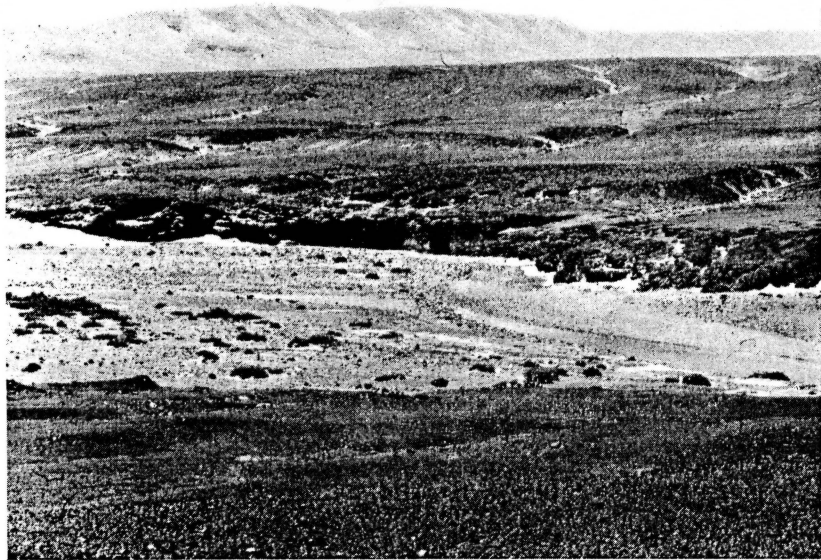


Photo 4. Koigabrivier ca. 15 km landwärts Piste Torrabaai—Toscanini. Aktuelles Rivier im Mittelgrund. Mitte hinten: Terrassen I—III aus vergipsten Sedimenten. Am jenseitigen Koigabufer links (überhängend) Terrassensedimente aufgeschlossen, rechts Karroobasalt. Hintergrund: Bruchstufe in Karroobasalten (Photo U. Rust 3/1978).

Summary. — *On geomorphological convergences. The case of Namib desert relief (Skeleton Coast and Central Namib Desert — South West Africa/Namibia).*

To discuss convergences of land forms and geomorphic processes is a special point of view predominantly stressed by other German authors up to now. In this article the author does not describe merely some observed convergences but he points out some more specific features of desert land forms by means of treating the idea of convergences as a conceptual model. He presents some results gained in Namib desert and focusses the debris produced there by cracking forces of gypsum salts in comparison with even those forces exerted by frost in a periglacial environment. Here the debris is both produced and moved away nearly synchronously. In Namib desert environment coarser sedimentary gravels and bedrock are broken up whereas the sediments as a whole are solidified synchronously by formation of gypsum crusts. The sediments themselves may be of quite different origin. So they indicate the gypsum crusts to have been developed here postsedimentarily. Since the actual foggy coastal Namib desert is very arid it is necessary to deduce quite different climatic conditions the debris to be removed. These conditions may be compared with those under which gypsum is karstified by solution processes. In general they ought to be more humid than now. When introducing an ecomorphodynamic point of view it is seen that a succession of two mutually excluding environments must be expected. The one debris to be produced, the other debris to be removed, vice versa production and removal of debris are two strictly diachronous processes. So some essential differences between Namib desert and periglacial geomorphic environments may be clarified. Finally it should be pointed out that 'time' is to be taken into consideration more precisely when stressing geomorphological convergences.