

kanter der Residualstreu bei Gobabeb deuten dagegen auf einen früheren Zerfall hin.

In die Kalkkrustenzeit sind wohl auch die flachen Täler eines Ur-Kuiseb — z. B. auf der Terrasse südlich Gobabeb — und eines Ur-Tsondab westlich des heutigen Endbeckens, der das Meer noch erreichte, zu stellen. Die sehr ähnlichen Verhältnisse am Mittellauf beider Ur-Riviere unterscheiden sich nur durch das seltenere Auftreten von Kalkkrustenbruchstücken im vermuteten Tsondablauf (dafür Scheibensteine) und dessen flacheres Südufer (wie bei Gobabeb im Sandstein).

Danach erfolgte die Ausbildung neuer Dünensysteme, gekennzeichnet durch die heutigen Hauptdünen in der Namib, wobei als Sandquellen einerseits die am Ostrand durch Flüsse erodierten fossilen Dünen wirksam wurden und andererseits Strandprozesse. Gleichzeitig könnte die Windkanterbildung eingesetzt haben. Während sich jedoch der Kuiseb allochthon weiter eintiefte, wurde der Tsondab-Unterlauf durch Sande blockiert, vielleicht durch den Fluß selbst, der im Verhältnis zum Kuiseb ein kleineres Einzugsgebiet besaß und größere Mengen ausgeräumter Sande mitführte. Eine Etappe auf dem Rückzug des Tsondab ist dann das bei Narabeb — westlich des heutigen Vleys und südlich Gobabeb — belegte Endbecken, das aufgrund von Artefaktfunden aus dem lokalen «Early Stone Age» auf mindestens 40—60 000 Jahre B. P. datiert wird (M. K. SEELY und B. H. SANDELOWSKY 1974). Anschließend wurde auch der Mittellauf des Tsondab direkt westlich des heutigen Vleys von Dünen überwandert; und die Scheibensteinbildung konnte beginnen.

Diese Dünen wurden jedoch — wohl durch eine letzte gewaltige Flut aus dem Hochland — in den Fußregionen fluvial überformt und haben seither wahrscheinlich ihre Grundrisse nicht mehr wesentlich verändert. 6 km westlich des Vleys gefundene Süßwasserschnecken ergaben nach vorläufigen Daten der Radiocarbonbestimmung $10\,000 \pm 2000$ Jahre B. P. (M. K. SEELY und B. H. SANDELOWSKY 1974). Da der genaue Fundort nicht bekannt ist, kann nicht entschieden werden, ob diese Zeitangabe für den Tsondab vor Dünenüberwanderung oder für die Überflutung der Dünen danach verwendbar ist. Nimmt man die wasserüberformten Fußregionen der Dünen am Kuiseb bei Gobabeb als gleichaltrig mit denen am Tsondab an — was nicht zwingend folgt —, so könnte die vorangegangene Blockierung des Kuiseb in eine Phase

mit der Überwanderung des Tsondab-Mittellaufes gestellt werden. Die Wasserüberformung bei Rooibank dagegen ist viel weniger ausgeprägt (nur im Diagramm nach MOIOLA und WEISER erkennbar und nicht durch Grobsande zu belegen). Mehrere mögliche Gründe lassen sich dafür anführen: zum einen eine ältere Überflutung als weiter östlich, wofür auch die Windkanter in Kuisebnähe sprächen (die im flachen Ur-Kuisebbett bei Gobabeb fehlen!), zum anderen der im Kuiseb-Unterlauf geringere Anteil an Grobmaterial und drittens eine stärkere rezente Windüberformung, die nach der Küstenwindrose gegeben erscheint.

Mit Sicherheit sind die inneren Regionen der Namib seither nur schwach durch die aktuellen Winde umgestaltet worden. Die Schwächung des Windregimes schließt aber auch eine Änderung der Windverteilung ein, da Barchane am mittleren Kuiseb (siehe U. RUST und F. WIENEKE 1974) nur bei stärkeren und vor allem richtungskonstanteren Winden aufgetreten sein können, wie sie heute etwa an der Küste herrschen, wo Barchanwanderung stattfindet.

5. Diskussion der Darstellungsweise

Die ursprüngliche Fragestellung zur räumlichen Gliederung der Dünen-Namib hat damit aufgrund der «abwegigen Ergebnisse» zu einer zeitlichen Gliederung geführt. Es bleibt noch zu diskutieren, ob die den Gedanken folgende Darstellung notwendig war, oder ob sich wenigstens Vorteile gegenüber der gestrafften (Untersuchungsgebiet — Methoden — Ergebnis) feststellen lassen. Folgende Punkte sprechen meines Erachtens aus der Sicht des Lesers für die ausführliche Behandlung:

1. Bessere Verständlichkeit:

Da vor Beginn der Arbeit noch kein Verdacht auf Wasserformung der Fußregionen bestand, ist z. B. nicht ohne weiteres einzusehen, weshalb die Methode von MOIOLA und WEISER angewendet wurde.

2. Engerer Kontakt zur Forschung:

Beim direkten Nachvollzug der Gedanken steht auch der Leser sozusagen «an der Forschungsfront» und kann unter Umständen wesentliche Impulse für eigene Arbeiten und Problemlösungen erhalten.

3. Anregung zur Kritik:

Bei der Darlegung der Gedankengänge werden schwache Stellen oder Ansatzpunkte für eine notwendige Korrektur faßbar.

4. Betonung des vorläufigen Charakters:

Diese Art der Darstellung macht auch die Dynamik jeder wissenschaftlichen Arbeit deutlicher, die keinen Abschluß kennt.

Eine wissenschaftliche Arbeit sollte vielleicht nicht nur Ergebnisse vermitteln, sondern auch das intellektuelle Abenteuer, das jede Forschung darstellt.

6. Literatur

- ALIMEN, M. H.: Sables quaternaires du Sahara nord-occidental. In: Publ. du Serv. de la Carte Géol. de l'Algérie, N. S. Bull. No. 15 (1957), 207 S. (Alger).
- BAGNOLD, R. A.: The physics of blown sand and desert dunes. London 1941, 265 S.
- BARNARD, W. S.: Duinformasies in die Sentrale Namib. In: Tegnikon, Des. 1973, S. 2—13 (Pretoria).
- BESLER, H.: Klimaverhältnisse und klimageomorphologische Zonierung der zentralen Namib (Südwestafrika). In: Stuttgarter Geogr. Stud., Bd. 83 (1972), 209 S. + Anh. (Stuttgart).
- BESLER, H.: Messungen zur Mobilität von Dünen sanden am Nordrand der Dünen-Namib (Südwestafrika). In: Würzburger Geogr. Arb., H. 43 (1975a), S. 135—147 (Würzburg).
- BESLER, H.: Der Namib-Erg und die Südafrikanische Randstufe. In: L. Beckel und S. Schneider: Die Erde neu entdeckt, Mainz 1975b, Bl. 24.
- BLACKWELDER, E.: Geomorphic processes in the desert. In: State of California, Dept. Nat. Res., Div. of Mines, Bull. 170 (1954), S. 11—20 (Sacramento).
- BRYAN, K.: Solution-faceted limestone pebbles. In: American J. of Sci., Bd. 18 (1929), S. 193 bis 208 (New Haven).
- COOKE, R. U. und WARREN, A.: Geomorphology in deserts. London 1973, 374 S.
- FOLK, R. L. und WARD, W. C.: Brazos River Bar: a study on the significance of grain size parameters. In: J. of Sedim. Petrol., Bd. 27 (1957), S. 3—26 (Tulsa/Oklah.).
- GANSSEN, R.: Südwest-Afrika: Böden und Bodenkultur. Berlin 1963, 160 S.
- HALLAM, C. D.: The geology of the coastal diamond deposits of Southern Africa. In: S. H. Haughton: The geology of some ore deposits in Southern Africa, Bd. II, Johannesburg 1964, S. 671—728.
- HIGGINS, C. G.: Formation of small ventifacts. J. of Geol., Bd. 64 (1956), S. 506—517 (Chicago).
- MARTIN, H.: Südwestafrika. In: Geol. Rdsch., Jg. 38 (1950), S. 6—14 (Stuttgart).
- McKEE, E. D. und TIBBITTS, G. C.: Primary structures of a seif dune and associated deposits in Libya. In: J. of Sedim. Petrol., Bd. 34 (1964), S. 5—17 (Tulsa/Oklah.).
- MOIOLA, R. J. und WEISER, D.: Textural parameters: an evaluation. In: J. of Sedim. Petrol., Bd. 38 (1968), S. 45—53 (Tulsa/Oklah.).
- PACHOUR, H. J.: Untersuchungen zur morphoskopischen Sandanalyse. In: Berliner Geogr. Abh., H. 4 (1966), 35 S. + Anh. (Berlin).

- RANGE, P.: Geologie der Küstenwüste Südwestafrikas zwischen dem Kuiseb und der Lüderitzbucht-Eisenbahn. In: Compt. Rend. XIV^e Congr. Géol. Int. 1926, Madrid 1928, 6 S.
- RANGE, P.: Die Küstenwüste zwischen Lüderitzbucht und Swakopmund in Südwestafrika. In: Pet. Mitt., Jg. 73 (1927), S. 344—353 (Gotha).
- RAPPARD, VON und HAXTHAUSEN, VON: Um das Tiras-Gebirge. In: Dt. Kolonialbl., Jg. 21 (1910), S. 422—424 (Berlin).
- RUST, U. und WIENEKE, F.: Studies on gramadulla formation in the middle part of the Kuiseb River, South West Africa. In: Madoqua, Ser. II, Bd. 3, Nr. 69—73 (1974), S. 5—15 (Windhoek).
- SCHOEWE, W. M.: Experiments on the formation of wind-faceted pebbles. In: American J. of Sci., Bd. 24 (1932), S. 111—134 (New Haven).
- SEELY, M. K. und SANDELOWSKY, B. H.: Dating the regression of a river's end point. In: South African Arch. Bull., Goodwin-Ser. No. 2 (1974), S. 61—64 (Cape Town).
- SEELY, M. K.: Namib dune coast reconnaissance 1973. In: Namib und Meer, Bd. 5/6 (1974/75), S. 15—26 (Swakopmund).
- STAPPEL, F. M.: Karte des untern !Khuisebthales. In: Pet. Mitt., Bd. 33 (1887), S. 202—214, Karte Taf. 11 (Gotha).
- STENGEL, H. W.: Die Riviere der Namib und ihr Zulauf zum Atlantik. I. Teil: Kuiseb und Swakop. In: Sci. Pap. of the NDRS, No. 22 (1964), 49 S. (Gobabeb).
- TRENK, P.: In den Dünen der Namib. In: Dt. Kolonialbl., Jg. 21 (1910), S. 230—236 (Berlin).

7. Diskussion

Zunächst wurde zur Darstellungsweise betont, daß die ausführliche Behandlung in diesem Falle notwendig sei, da mit den neuen Ergebnissen sich auch ein neues Problem ergeben hat und praktisch zwei Arbeiten zu einer Abhandlung zusammengezogen wurden.

Nach K. HÜSER und W. D. BLÜMEL könnte es sich bei den Kalkkrusten der Tsondab Flats vom — auf den Bildern erkennbaren — Habitus her um ein ganz anderes Substrat handeln als bei den Krusten am oberen Tsondab, die auch z. B. keine Schwarzkalke enthalten. Danach müßten die Krusten der Tsondab Flats sehr weit transportiertes Material einschließen oder — da auch sehr schlecht gerundete Bestandteile zahlreich sind — aus sehr alter Zeit stammen, als das Hinterland noch nicht so weit entfernt war. Es ist nicht ausgeschlossen, daß es sich bei der dunkleren Kalkkruste um ein älteres Niveau handelt als bei der helleren im Osten, die nach Westen auskeilt. Tatsächlich macht die düstere Landoberfläche einen sehr alten und stark polierten Eindruck. Die beschriebenen hellen, kalkhaltigen Grobsande könnten dann eventuell fluviatil umgelagerte Reste eines jüngeren Kalkkrustenniveaus darstellen.

Nach U. Rust und F. Wieneke war die statistische Masse der Proben nicht ausreichend. Dazu ist zu bemerken, daß die Wahrscheinlichkeit des Zufalls von ausnahmsloser Übereinstimmung zwischen These und erhaltenen Daten bei niedriger Probenzahl statistisch viel geringer ist als die Wahrscheinlichkeit, daß die erhaltene Aussage zutrifft. Wie im Text erwähnt, ist aber eine statistische und gründlichere Untersuchung des Problems geplant.

Abschließend wurden angedeutete Möglichkeiten einer Korrelierung der Befunde mit solchen von der Küste und aus der Kalahari diskutiert mit dem Ergebnis, daß trotz scheinbarer Ähnlichkeit der Abfolgen in der Kalahari die Voraussetzungen für überregionale Aussagen noch nicht gegeben sind.

Wasserüberformte Dünen als Glied in der Landschaftsgenese der Namib

Zur methodischen und didaktischen Problematik
überraschender Ergebnisse

Helga Besler

Geographisches Institut der Universität Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	84
Summary	84
Résumé	84
1. Einleitung	85
2. Das Untersuchungsgebiet	86
3. Aufschlüsselung des Problems	91
3.1 Die Hypothese	91
3.2 Beweismethode und Ergebnisse	93
3.3 Die neue Hypothese	96
4. Perspektiven für die Landschaftsgenese	99
5. Diskussion der Darstellungsweise	103
6. Literatur	104
7. Diskussion	105
Angaben über die Autorin	106

Angaben über die Autorin: Helga BESLER, geb. 16. 3. 1939, Studium in Stuttgart und Belfast (Nordirland), Ende 1967 Staatsexamen für die Fächer Chemie, Geographie und Physik in Stuttgart, 1969 Forschungsaufenthalt in Gobabeb (Namib, Südwestafrika), 1971 Dr. rer. nat. in Stuttgart, seit 1972 Wissenschaftliche Assistentin in Stuttgart, 1974 auf Einladung Teilnahme an der Konferenz der IGU «Working group on desertification in and around arid lands» in Alice Springs (Australien). — Buchveröffentlichung: Klimaverhältnisse und klimageomorphologische Zonierung der zentralen Namib (= Stuttgarter Geogr. Stud., Bd. 83, Stuttgart 1972).

* *Anschrift der Autorin:* Dr. Helga BESLER, Geographisches Institut der Universität Stuttgart, Silberstraße 9, D-7000 Stuttgart 1

Zusammenfassung: Viele Anzeichen sprechen in der Dünen-Namib für eine Anlieferung der Sande aus unterschiedlichen Quellen: aus Strandprozessen an der Küste und aus Reaktivierung fossiler roter Dünen im Osten. Eine Trennung in kleinere, dicht gedrängte Querdünen aus hellen inhomogenen Sanden an der Küste und große rote Längsdünen mit weiten Abständen im Inneren scheint möglich und entspricht auch den unterschiedlichen Windverhältnissen. Farbe und Korngrößenparameter ändern sich jedoch landeinwärts kontinuierlich und zeigen keinen Sprung. Daher wurde die Grenze zwischen Küstendünen- und Binnendünensanden nach der sedimentpetrographisch-empirischen Methode von R. J. MOIOLA und D. WEISER gesucht.

Diese Methode versagte für die horizontale, ergab jedoch eine vertikale Gliederung der nördlichen Dünen in wasserüberformte Fuß- und windgeformte Kammregionen. Die Wasserüberformung ist an hellen Grobsanden auf den roten Dünen zu erkennen und wird durch weitere Indizien gestützt. Sie resultiert danach nicht aus rezenten Überschwemmungen, sondern ist in ihrer Konservierung Ausdruck eines zu schwachen aktuellen Windregimes. Verursacht wurde sie wahrscheinlich durch allochthone Fluten ohne eigentliche Feuchtzeit in der Namib. Als vorletztes Glied wird diese Phase eingeordnet in eine zwischen Tsondab und mittlerem Kuiseb abgeleitete Abfolge wechselnder Wind- und Wasserformung.

Abschließend wird die Art der Darstellung diskutiert.

Summary: In the Namib dunefield there is much evidence that the sands are of different origin: beach processes along the coast, and mobilization of fossil red dunes in the east. A division into the smaller, paler, and crowded transversal dunes of the coastal area and the higher, red, and widely spaced longitudinal dunes of the interior seems possible, supported by different wind systems. Colour and grain size parameters however change gradually from west to east and show no break. Therefore the sedimentary petrological method by R. J. MOIOLA and D. WEISER was applied to find the boundary between coastal dune and inland dune sands.

This method did not result in a horizontal but in a vertical differentiation of the dunes into a lower region influenced by water and a crest region modelled by wind. The effect of water is characterized by coarse pale-coloured sands covering the red dunes and is supported by several facts. It was not caused by present-day floods but has been preserved over a long period because of the weakness of the modern wind system. Most probably these ancient floods were allochthonic; there is no evidence for a more humid climate in the Namib desert. This event is seen as one stage in a sequence of alternating aeolian and fluvial processes in the Namib dunefield between Kuiseb and Tsondab.

(Introductory and concluding remarks about didactics.)

Résumé: Dans l'erg du Namib il y a beaucoup d'évidence que les sables sont d'origine différente: des processus littoraux à la côte et mobilisation des dunes rouges fossiles à l'Est. Mais les couleurs et les caractéristiques granulométriques varient d'une façon continue vers l'intérieur. C'est par cette raison que, pour trouver la zone transitoire entre les sables des dunes littorales et des dunes intérieures, on a appliqué la méthode sédimentaire-petrologique de R. J. MOIOLA et D. WEISER. Cette dernière méthode n'amène pas à une différenciation horizontale des dunes, mais plutôt à une différenciation verticale entre une région au bas des versants remaniée par l'eau

et la région des crêtes modelée par le vent. De certaines observations soutiennent la thèse que les effets de l'eau sur les dunes (décrit dans le texte) ne proviennent pas d'une inondation récente mais plutôt d'un événement lointain ce qui est possible parce que le régime actuel des vents est trop faible pour en détruire les vestiges. Cet événement constitue une étape dans l'évolution du paysage.

1. Einleitung

In der ersten Einladung zum Geomethodischen Colloquium nach Basel wurde darauf hingewiesen, daß Forschungsergebnisse nicht nur vorgestellt sondern als methodisches oder methodologisches Problem behandelt werden sollten. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten: einmal Methoden der Forschung, zum anderen Methoden der Darstellung betreffend. Es kann sich also sowohl um methodische als auch um didaktische Probleme handeln.

In diesem Sinne möchte ich am Beispiel der nördlichen Dünen-Namib einen Fall herausgreifen, der bei wissenschaftlichen Arbeiten — aller Disziplinen — gar nicht so selten sein dürfte: daß nämlich Forschungsergebnisse vorliegen, die mit einer Untersuchungsmethode gewonnen wurden, deren Anwendung eigentlich zu ganz anderen Ergebnissen führen sollte. Eine aufgestellte Hypothese wird also weder falsifiziert noch verifiziert, sondern die Ergebnisse eröffnen Deutungsmöglichkeiten auf einer völlig anderen Ebene.

Für die Darstellung erhebt sich dann die Frage: Kann der gewundene Weg verschwiegen bzw. begradigt werden, oder ist es wünschenswert, ja sogar erforderlich, daß der Leser Einblick in die ursprünglichen Gedankengänge erhält? Für mein Beispiel wurde die zweite Alternative gewählt:

A. begradigt

1. Das Untersuchungsgebiet
2. Die Methoden
3. Die Ergebnisse

B. ausführlich

1. Das Untersuchungsgebiet
2. Die Hypothese
3. Die Beweismethode
4. «Abwegige» Ergebnisse
5. Die neue Hypothese
6. Zusatzmethoden
7. Die Ergebnisse

Zwischen die klassischen Abschnitte «Untersuchungsgebiet» und «Methoden» schiebt sich also die «ursprüngliche Hypothese», zwischen «Methoden» und «Ergebnisse» schieben sich «abwegige Ergebnisse», «neue Hypothese» und «Zusatzmethoden». Dadurch wird die Darstellung umfangreicher und scheinbar komplizierter. Abschließend soll jedoch zur Diskussion gestellt werden, ob diese Art der Behandlung nicht verständlicher und häufig angebrachter ist als die begründete.

2. Das Untersuchungsgebiet

Untersuchungsgebiet ist die Dünen-Namib von ihrer Nordgrenze am Kuiseb bis zur Breite von Tsondab Vley (etwa 24° s. Br.). Auf dem bekannten Gemini-Photo und auf anderen Luftbildern werden bereits markante Unterschiede nach Struktur und Farbe deutlich (siehe auch H. BESLER 1975b). Während jedoch die Rottönung nach Osten kontinuierlich zunimmt, zeigen die morphologischen Elemente gebrochene Übergänge. Das ist besonders auffallend zwischen den kleinen, dicht gedrängten, NW ziehenden Querdü-

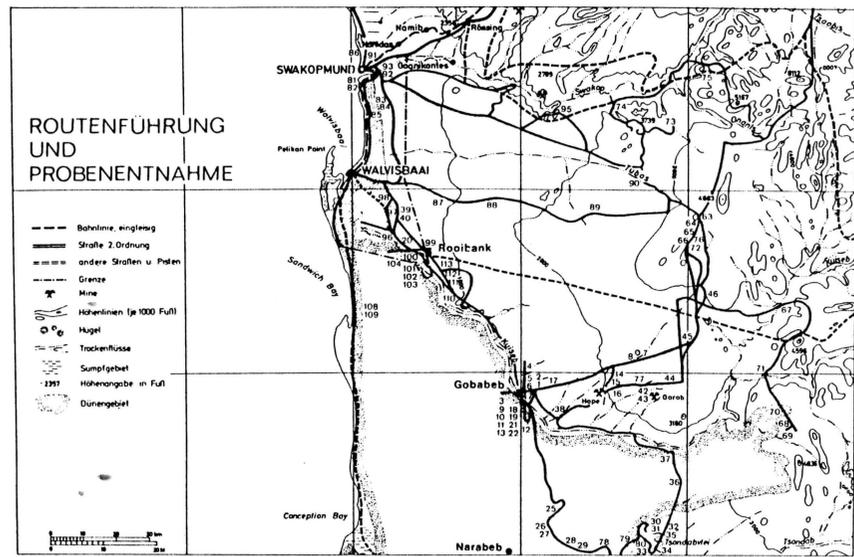


Fig. 1: Routenführung und Probenentnahme im Bereich des Untersuchungsgebietes, nach H. BESLER 1972. (Die neue Wetterstation Narabeb wurde nachträglich eingezeichnet.)

nen an der Küste und den großen, etwa NS verlaufenden Quasilängsdünen mit weiten Abständen in der Mitte, zwischen den ungeordneteren, aber im wesentlichen auch NS ziehenden roten Dünen bei Tsondab Vley und der düsteren, dünenfreien Fläche westlich davon.

Erkundungsfahrten im Gelände konnten leider nur stichprobenartig nach Sandwich Bay, bei Rooibank, bei Gobabeb und von dort über die Black Plain (nach H. W. STENGEL, unveröffentl.: Tsondab Flats) nach Tsondab Vley durchgeführt werden (Fig. 1, H. BESLER 1972). Dabei zeigten sich weitere

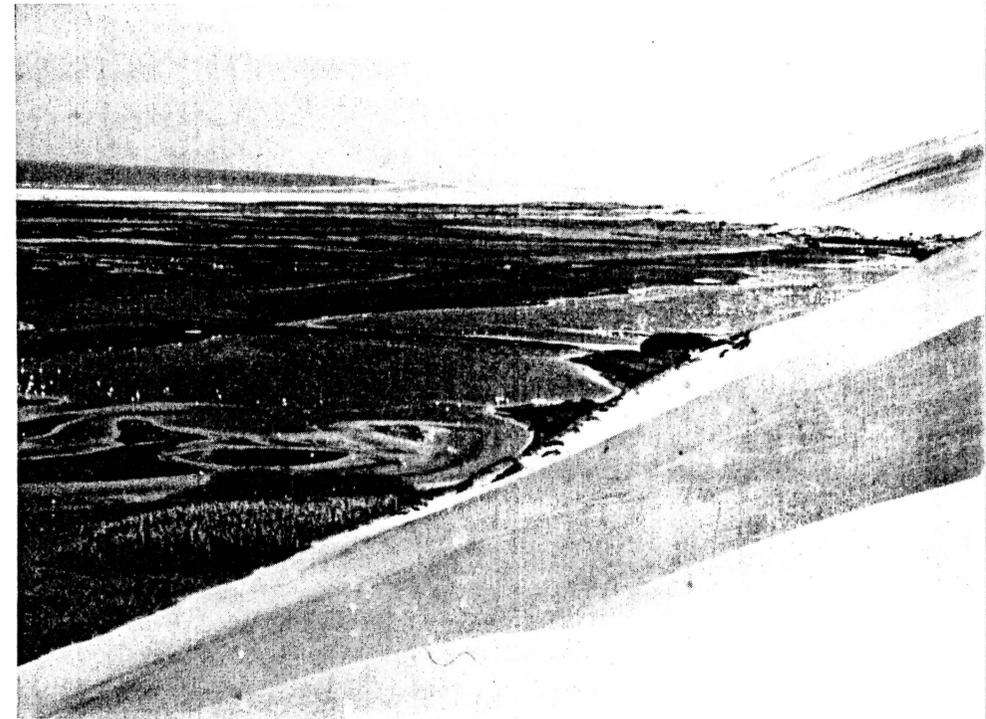


Photo 1: Küstenparalleler Dünenrandwall bei Sandwich Bay. Aufnahme: 24. 11. 1969, vorm., Blickrichtung Nord. — Der steile Randwall ist hier 80 m hoch und zeigt an der Meeresseite oberflächliche Verbackung, aber keine Grundfeuchte. Die Sande sind nach MUNSSELL «light yellowish brown» (10 YR 6/4) und enthalten unterschiedliche Mineralien. Im Hintergrund ist die schmale Sandzunge der Nehrung mit jenseitiger Brandung zu erkennen, die die Lagune 1969 fast ganz abschloß. Am Fuße des Dünenwalles im Vordergrund wächst neben der weit verbreiteten niedrigen Salzmarsch- auch Süßwasservegetation (Schilfrohr, Rohrkolben), ein Indiz für alte Verbindungen zum Tsondab?

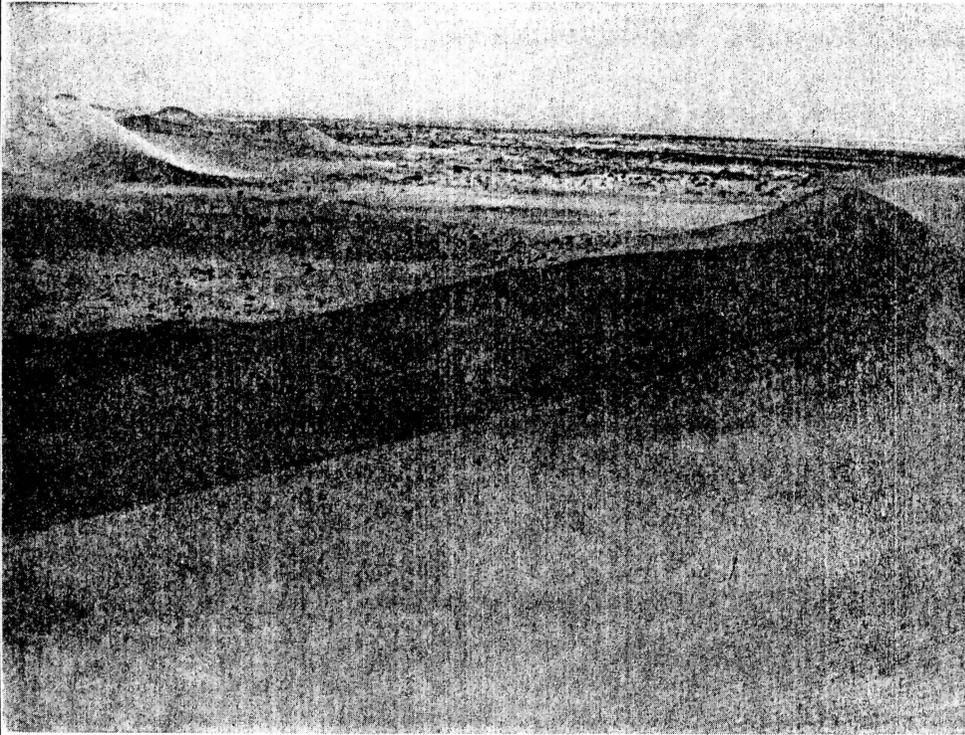


Photo 2: Zum Kuiseb offene Dünengasse südlich Rooibank. Aufnahme: 10. 11. 1969, vorm., Blickrichtung Nordnordwest. — Die 60 bis 70 m hohen Dünen ziehen nach Norden und enden im flachen Bett des Kuiseb im Hintergrund. Die Vegetationsflecken bestehen aus *Aristida*, *Naras* und *Trianthea*. Der Kalksandstein-Untergrund der Dünengasse wird größtenteils von Sand-schleiern verdeckt. Die Dünensande sind nach MUNSELL «yellow — yellowish brown» (10 YR 5/4) und oberflächlich leicht verbacken.

Unterschiede: Die hellen Sande an der Küste — nach MUNSELL «light yellowish brown» (10 YR 6/4) — enthalten im Gegensatz zu fast allen anderen Proben Körner in allen Farben und sehr unterschiedliche Mineralien. Die Dünen haben keine eigentlichen bzw. tief versandete Täler ohne anstehenden Untergrund (siehe auch F. M. STAPFF 1887 und W. S. BARNARD 1973); sie werden gegen die Küste ungeordneter und schließen mit einem steilen, 80 bis 90 m hohen, küstenparallelen Randwall ab (Photo 1), so z. B. auch die Lange Wand zwischen Meob und Spencer Bay, die eine Küstenerkundung sehr erschwert (M. K. SEELY 1974/75). Ähnliche Beobachtungen wurden hier schon 1910 von P. TRENK und 1927 von P. RANGE gemacht.

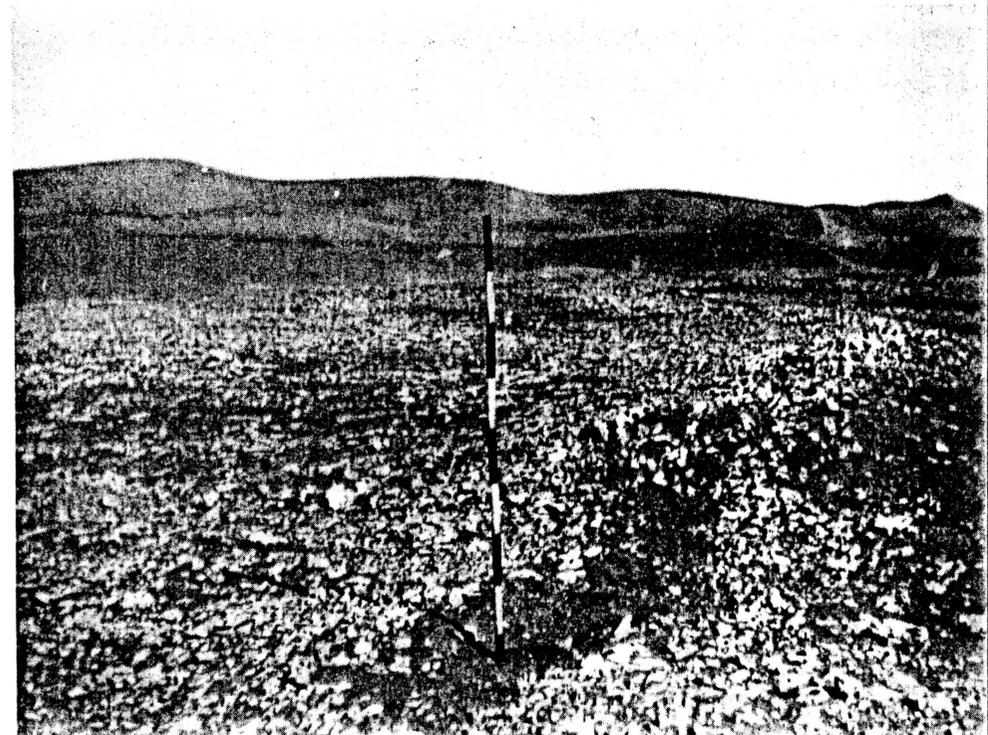


Photo 3: Dünengasse südwestlich Gobabeb oberhalb der Terrasse. Aufnahme: 8. 8. 1969, vorm., Blickrichtung Nordwest. — Der Untergrund der 1—1,5 km breiten Gassen besteht aus weichem rotem Sandstein. Man erkennt die starke Bleichung und hammada-artige Auflösung der Oberfläche, besonders in der Nähe der von der vorderen Bildmitte nach rechts hinten ziehenden Polygonspalte, die 20—30 cm tief und mit lockerem Dünensand verfüllt ist. Zwischen den Kalksandsteinbruchstücken liegen Kiesel und Windkanter aus Quarz. Der Dünenzug im Hintergrund erreicht bis 100 m Höhe. Die Dünensande sind nach MUNSELL «strong brown» (7,5 YR 5/6).

Bei Rooibank (Photo 2) sind zwischen etwa NS ziehenden gelben Dünen (nach MUNSELL «yellow—yellowish brown», 10 YR 5/4) schon deutliche Dünengassen vorhanden, in denen auf einer hellbraunen (MUNSELL 10 YR 6/3), bei Transport zerfallenden Kalksandsteinkruste wenige Zentimeter Lockersand, z. T. kalkverbackene Kiesel und Windkanter aus gelblich- bis glasklarem Quarz liegen. Schmalere Täler werden durch kuisebparallele Randdünen abgeschlossen und enthalten Reste von Regenseen.

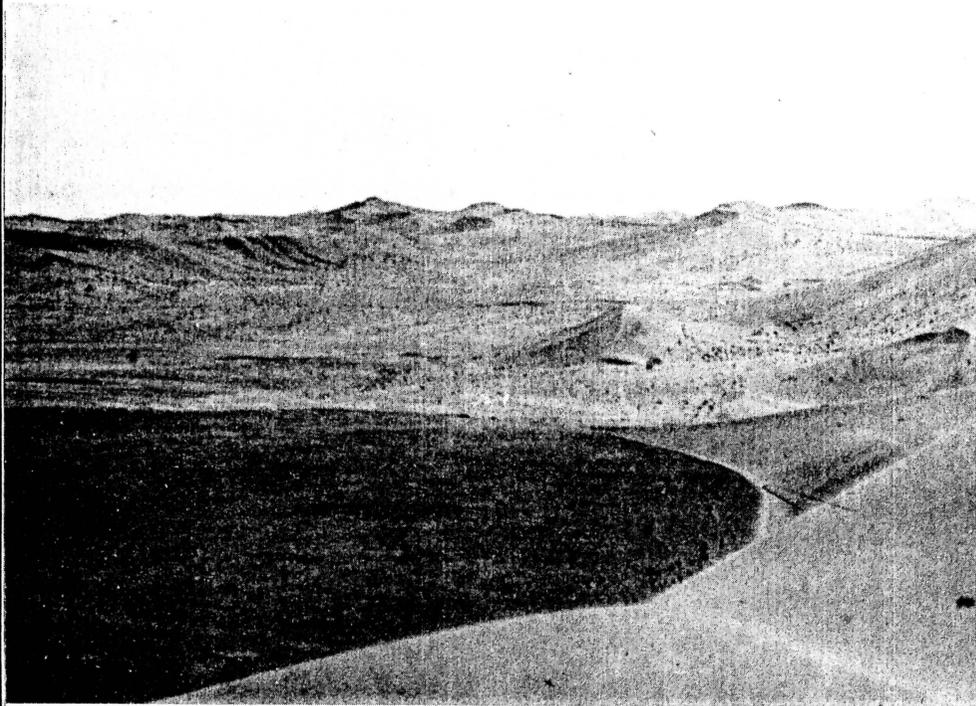


Photo 4: Der Ostrand der Black Plain (Tsondab Flats) auf der Breite von Tsondab Vley. Aufnahme: 6. 9. 1969, nachm., Blickrichtung Nordost. — Deutlich hebt sich der mit dunklen Kalkkrustenresten und spärlichem Graswuchs bedeckte Flächenboden von den rötlichen Dünen im Osten ab. Zwischen den unregelmäßigen Kämmen ist ein Netz aus helleren Grobsanden (mit Vegetationspunkten) zu erkennen, das stellenweise — so in der hinteren rechten Bildhälfte — bis fast zur halben Dünenhöhe reicht.

Südlich Gobabeb (Photo 3) tritt der Untergrund neben den Dünen in Gassen von 1—1,5 km Breite auffallend in Erscheinung. Er besteht hier aus weichem rotem Sandstein (MUNSELL 7,5 YR 6/4), der oberflächlich stark verkalkt und gebleicht, hammadaartig aufgelöst und stellenweise von Gipslagen und Spaltenpolygonen durchzogen ist (H. BESLER 1972). Die Residualstreu aus Kieselsteinen und Windkantern geht nach Südosten in eine geschlossenere Kalkkonglomeratdecke über, die an besonders exponierten Stellen Windschliffazetten aufweist. Die rötlichen Dünen (MUNSELL 7,5 YR 5/6) erreichen hier bis 100 m Höhe und besitzen zum Teil weitgespannte, glaciaartige Fußregionen.

Die Black Plain (Tsondab Flats) erhält ihr düsteres Aussehen (Photo 4) durch eine Streu von Schwarzkalkgeröllen (aus der Naukluft?), die hier ohne Matrix, am Ostrand der Fläche aber noch im metermächtigen Kalkkrustenverband mit Windschliffrippen vorkommen. Darunter steht auch hier weicher roter Sandstein (MUNSELL 5 YR 4/6) mit Gipsbändern an.

Am Tsondab Vley — dem Endbecken des Tsondab Riviers — sind die Dünengassen wieder weitgehend verschüttet. Die Ostseiten der roten Dünen (MUNSELL 5 YR 5/8) sind glaciaartig ausgebildet und gehen in größere Flächen rippelloser Sande über. Der rote Sandstein-Untergrund (MUNSELL 5 YR 5/4) wird jedoch an einem 90 m hohen Kliff an der Ostseite des Vleys aufgeschlossen. Tsondab aufwärts sind darin noch fossile Dünenstrukturen zu erkennen, die von Oberflächenkalken gekappt werden, westlich des Vleys an der Basis verkalkte Wurzelhorizonte. H. MARTIN (1950) beschreibt ein gleiches Profil von der Buntfeldschuh-Steilkante südlich Lüderitzbucht, nur 20 km von der Küste entfernt, C. D. HALLAM (1964) ein solches direkt von der Küste nördlich Oranjemund. Diese Verhältnisse sind also in der gesamten Dünen-Namib weit verbreitet.

3. Aufschlüsselung des Problems

3.1 Die Hypothese

Jedes Dünengebiet wirft sofort die Frage nach Alter und Entstehung auf. Die in der Namib gewonnenen Eindrücke führten bezüglich der Entstehung zu folgender Hypothese:

Die Namib-Dünen entstehen an der Küste durch normale Strandprozesse, im Inneren aber durch Reaktivierung fossiler Dünen.

Das bedeutet unterschiedliches Alter für die Dünensande, für die Dünen selbst jedoch nicht unbedingt. — Diese Hypothese wird neben den geschilderten Untergrund- und Dünenverhältnissen durch Klimadaten unterstützt.

Die Windrose (Fig. 2) von Gobabeb (Binnenland) zeigt größte Häufigkeit für Südwest- und Südostwinde (abgesehen von der gegenwirkenden Nord-

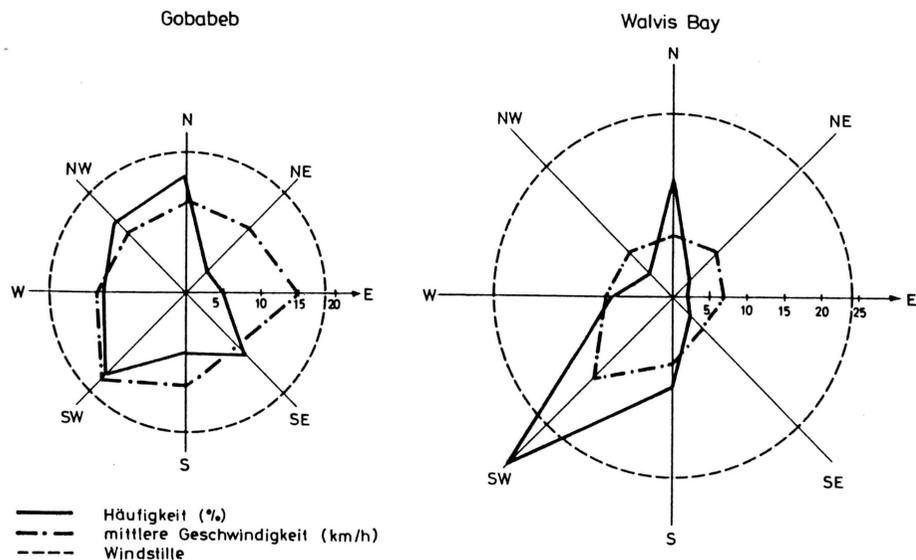


Fig. 2: Windrosen von Gobabeb als Binnenstation (nach H. BESLER 1975a) und von Walvis Bay als Küstenstation (Messungen nur Oktober 1965 bis Dezember 1966).

komponente) und höchste mittlere Geschwindigkeiten für Südwest- und Ostwinde, nach den geltenden Theorien also die für Längsdünenbildung notwendigen zwei Hauptwindrichtungen (R. A. BAGNOLD 1941, E. D. MCKEE und G. C. TIBBITTS 1964, I. G. WILSON 1970, zitiert in R. U. COOKE und A. WARREN 1973). Genauere Untersuchungen ergaben jedoch komplexere Sandbewegungen (H. BESLER 1975a). — Die Windrose von Walvis Bay (Küste) dagegen zeigt sowohl für Häufigkeiten als auch für mittlere Geschwindigkeiten nur ein ausgeprägtes Maximum bei Südwestwinden, also beste Voraussetzungen für NW verlaufende Querdünen.

Nach dem Gemini-Photo scheint es auch über die Lage der Grenze zwischen Küsten- und Binnendünen keinen Zweifel zu geben. Sandproben zeigen allerdings nur gleitende Übergänge für Farbe und alle Korngrößenparameter von der Küste landeinwärts (Fig. 3). Die mittleren Korngrößen der Kamm- und Fußsande nehmen z. B. linear mit zunehmender Küstenentfernung ab, die Sortierung nimmt in gleichem Maße linear zu! Insbesondere läßt sich zwischen Sandwich Bay und Rooibank kein Sprung feststellen, auch nicht in den recht genauen Beobachtungen bei F. M. STAPFF, der 1887 diese Strecke zu Pferde zurücklegte.

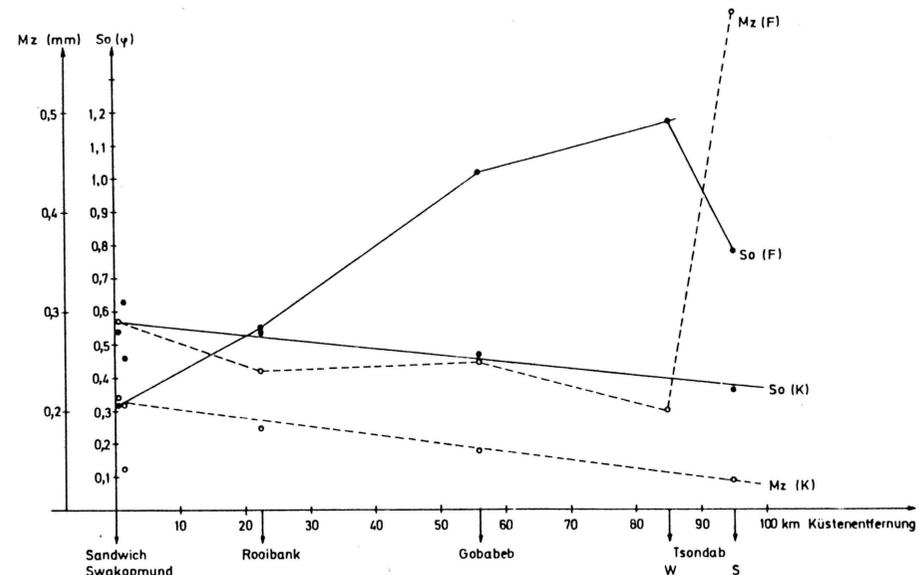


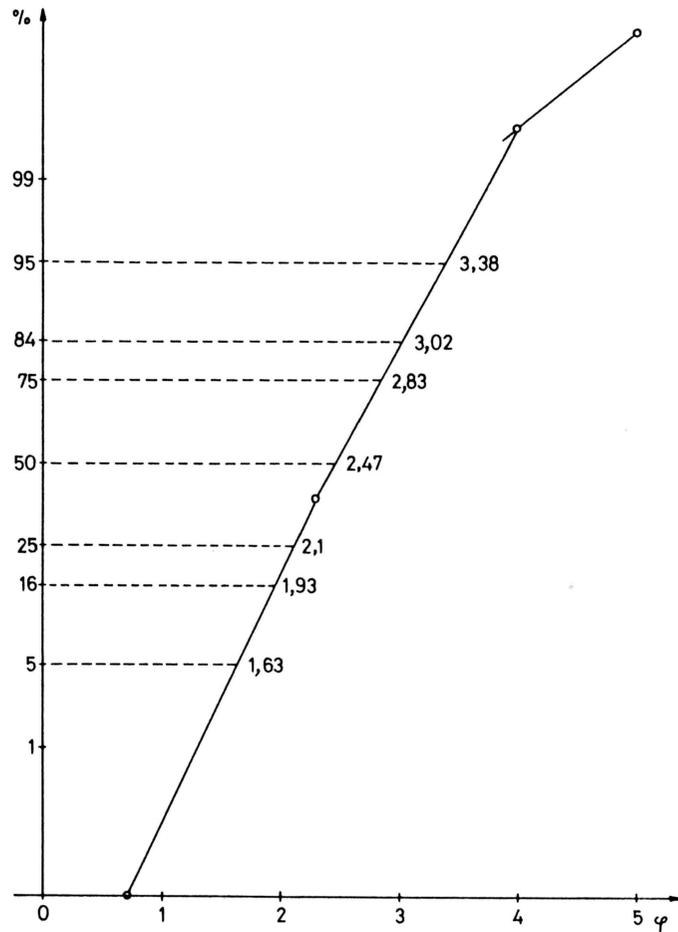
Fig. 3: Mittlere Korngröße (Mz) und Sortierung (So) der Kamm- (K) und der Fußsande (F) in Abhängigkeit von der Küstenentfernung. (Berechnung der Korngrößenparameter nach FOLK und WARD 1957.)

In frühen Beschreibungen finden sich zudem noch andere Möglichkeiten der Abgrenzung, die lagemäßig nicht übereinstimmen: so 1909 bei VON RAPPARD und VON HAXTHAUSEN feste Flächen zwischen Küsten- und Binnendünen, bei P. TRENK (1910) die Unterscheidung zwischen Flugsanddünen an der Küste und Grasdünen im Inneren, und auch bei P. RANGE 1928 dieser Unterschied in der Vegetation.

Außerdem besteht die Möglichkeit, daß weit genug landeinwärts gewanderte Küstendünen durch das Windregime des Binnenlandes umgestaltet werden. — Die Hypothese kann also erst durch das Auffinden der Grenze zwischen Küstendünen- und Binnendünensanden eindeutig verifiziert werden.

3.2 Beweismethode und Ergebnisse

Die Sedimentpetrologie bietet für dieses Problem die Methode von R. J. MOIOLA und D. WEISER (1968) an. Sie erfordert für jede Sandprobe zu-



Mittlere Korngröße: $Mz = (\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}) : 3 = 2,473$

Sortierung: $So = \frac{(\varphi_{84} - \varphi_{16})}{4} + \frac{(\varphi_{95} - \varphi_5)}{6,6} = 0,538$

Schiefe: $Sk = \frac{(\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50})}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{(\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50})}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)} = +0,025$

Fig. 4: Kornsummenkurve des Kammsandes von Rooibank im φ -Maßstab ($\varphi = -^2\log d$) und im Wahrscheinlichkeitsnetz als Beispiel. Daraus berechnete Korngrößenparameter nach FOLK und WARD (1957):

nächst die Konstruktion der Kornsummenkurve (Fig. 4) im Phi-Maßstab, d. h. Korngröße als negativer Logarithmus zur Basis 2 ($\varphi = -^2\log d$), und auf Wahrscheinlichkeitspapier, d. h. mit starker Dehnung des Anfangs- und Endbereiches. Aus dieser Kurve werden dann die Perzentile in Phi abgelesen, die für die Formeln zur Berechnung des mittleren Korndurchmessers und der Schiefe nach R. L. FOLK und W. C. WARD (1957) benötigt werden. Die so erhaltenen Korngrößenparameter aller Sande werden schließlich in einem Diagramm nach R. J. MOIOLA und D. WEISER gegeneinander aufgetragen (Fig. 5). Die entstehende Punktwolke läßt sich nun durch eine empirisch gefundene Gerade in Binnendünen- und Küstendünenbereich aufspalten.

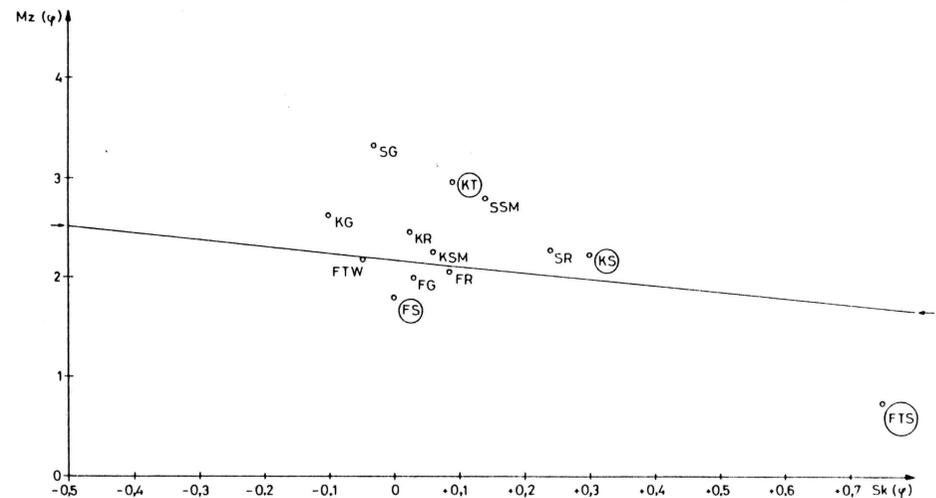


Fig. 5: Diagramm nach MOIOLA und WEISER (1968) zur Unterscheidung von Küstendünensanden (unterhalb der Geraden) und Binnendünensanden (oberhalb der Geraden).

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. Buchstabe: F = Fußsand | 2. Buchstabe: G = Gobabeb |
| K = Kammsand | R = Rooibank |
| S = Salzsand oder Staub | S = Sandwich Bay |
| | SM = Swakopmund |
| | TS = Tsondab Vley Süd |
| | TW = Tsondab Vley West |

176 Diese Methode versagte bei den Namibsanden, da auf beiden Seiten der
177 Geraden sowohl Sande von Sandwich Bay (KS, FS) als auch von Tsondab Vley
178 (KT, FTS, FTW) vertreten sind. Allerdings zeigt sich ein anderes — zunächst

erstaunliches — Ergebnis: Alle Sande aus den Fußregionen (F) liegen im Küstendünen-, die Sande aus Kammregionen (K) ausnahmslos im Binnendünen-sektor. (Weiter sind noch einige Salzsand- und Staubproben enthalten.) — Es ergibt sich also nicht die erwartete horizontale sondern eine vertikale Gliederung der Dünen!

Um diesen Befund deuten zu können, muß zunächst der Unterschied zwischen Binnen- und Küstendünensanden herausgestellt werden, der diese Methode rechtfertigt. Binnendünensande werden in der Regel allein durch den Wind bewegt und sortiert. Küstendünensande dagegen haben in vergleichbaren Zeiträumen vor der Bearbeitung durch den Wind schon eine Auslese durch Wellenprozesse, also bewegtes Wasser, erfahren. Diese unterschiedlichen Ablagerungsbedingungen führen zu nur leicht veränderten Korngrößenparametern, die erst in einer günstigen Kombination — die MOIOLA und WEISER empirisch fanden — die Unterscheidung ermöglichen.

Der vorliegende Befund kann also dahingehend gedeutet werden, daß in der nördlichen Dünen-Namib die Fußregionen der Dünen durch bewegtes Wasser mitgestaltet worden sind. Die Frage nach der Grenze zwischen Küsten- und Binnendünen ist damit nicht geklärt; hierzu müssen andere Methoden herangezogen werden.

3.3 Die neue Hypothese

Die neue Hypothese lautet:

Die Dünenlandschaft der Namib ist durch fließendes Wasser stark beeinflusst worden. Dieses Ereignis liegt entweder noch nicht weit zurück, oder das herrschende Windregime ist zu schwach, um die aquatische Prägung zu zerstören.

Diese Hypothese wird unterstützt durch die schon erwähnten glacisartigen Fußregionen, die stellenweise aus sehr groben Sanden — oder Feinstserir — bestehen und auch keine Windrippeln aufweisen. Tennenartige Sanddecken werden von R. GANSEN (1963) an der Ostgrenze der Dünen-Namib zum Naukluft-, Tsaris- und Tirasgebirge beschrieben, also entlang der gesamten Randstufe. Häufig — so südlich Gobabeb, westlich und südlich Tsondab Vley — handelt es sich dabei um bimodale Grobsande, wie sie sonst nur in Wadis (M. H. ALIMEN 1957) oder als Ausblasungsrückstand auf Serirflächen auftreten. Vor allem die Ähnlichkeit mit den bimodalen Serirsanden in Libyen ist sehr groß (E. D. MCKEE und G. C. TIBBITTS 1964).

Besonders Nr. 80 (Fig. 6), der Fußsand von der Ostseite der großen Düne südlich Tsondab Vley, ist sehr grob ($M_z = 0,6$ mm), hell gelblich braun und nicht rot wie die Kammsande, schlecht gerundet und inhomogen. Der Kalkanteil, der bei fast allen anderen Sanden unter 1% bleibt, beträgt hier 5,57%. Die Kornsummenkurve zeigt stark ausgeprägte Bimodalität und erinnert sehr an die Sande des Erg Djemel bei M. H. ALIMEN (1957), die sie «sables de ruissellement éolisés» nennt.

Ähnliche Eigenschaften in gemäßigter Ausprägung weist Nr. 79 auf, der Fußsand aus der Dünenlandschaft westlich des Vleys, der zwar etwas feiner ausfällt ($M_z = 0,2$ mm), etwas besser gerundet ist und auch Großrippeln bildet, der aber mit 6,14% einen noch höheren Kalkgehalt aufweist und ebenfalls noch bimodal ist.

Wenn man bedenkt, daß Probe Nr. 80 aus der engeren Umgebung des Vleys stammt und Probe Nr. 79 nicht weit von dem westlich des Vleys noch zu verfolgenden Tsondablauf genommen wurde, so wird eine fluviale Ablagerung beim Abkommen des Tsondab über sein heutiges Endbecken hinaus nach Westen und bei hohem Wasserstand im Vley wahrscheinlich, zumal diese helleren und gröberen Sande nur eine relativ geringe Bedeckung bis zu 2 cm Mächtigkeit darstellen. Allerdings müssen die Wassermassen beträchtlich gewesen sein, da beide Proben nicht vom Hangfuß, sondern vom unteren Hangdrittel genommen wurden und sich die hellen Grobsande optisch bis zur Black Plain (Tsondab Flats) verfolgen lassen (Photo 4).

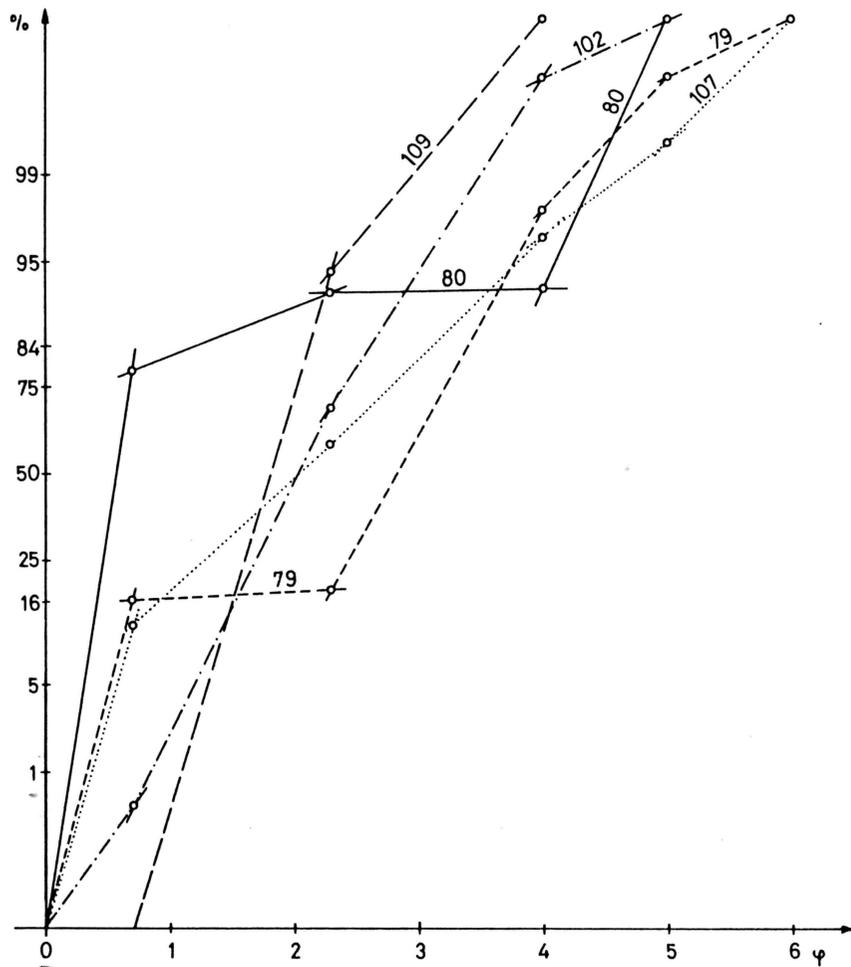


Fig. 6: Kornsummenkurven der Fußsande aus dem Untersuchungsgebiet:
 79: Tsondab Vley West
 80: Tsondab Vley Süd
 102: Rooibank
 107: Gobabeb
 109: Sandwich Bay

Die Fußsande von Gobabeb stammen auch aus Riviernähe, liegen aber in einiger Entfernung über dem südlichen Steilufer des Kuiseb, so daß eine Wasserformung vor der Eintiefung des Riviers stattgefunden haben müßte, sofern man Schichtfluten ausschließt. Bimodalität tritt hier nicht überall auf, dafür an einigen Stellen schon mit bloßem Auge erkennbar.

Bei Rooibank ist das Kuisebufer nicht mehr so deutlich ausgeprägt, so daß hier eine Überflutung bei starker Wasserführung noch am ehesten möglich wäre. (Nach H. W. STENGEL 1964 brach im Jahre 1923 der Kuiseb nach Sandwich Bay durch die Dünen.) Bimodalität tritt nicht auf, ebenfalls nicht beim Fußsand von Sandwich Bay, der nur 2 m über NN entnommen wurde. Dieser Sand besteht ganz im Gegenteil zu 94,1% aus nur einer Korngröße, was ihn als Fließsand prädestiniert, wovon entlang der Küste auch berichtet wird. Eine Meeresüberformung ist hier wahrscheinlich, da auch die schon erwähnte Lange Wand durch ausgedehnte Muschelbedeckung teilweise stabilisiert wird (M. K. SEELY 1974/75).

Ogleich es im Diagramm weder bei Fuß- noch bei Kammsanden eine Ausnahme gab, ist zur endgültigen Verifizierung der neuen Hypothese der Beweis durch eine zweite oder Zusatzmethode zu erbringen. Hier bietet sich die morphoskopische Sandanalyse nach H. J. PACHUR (1966) an, bei der sich für kombinierte Wind- und Wasserwirkung eine andere Flächentracht der Körner ergibt als für rein äolische.

4. Perspektiven für die Landschaftsgenese

Mit dem Ergebnis der Wasserüberformung ist noch nicht geklärt, ob es sich hierbei um einen linearen Einfluß entlang alter Wasseradern oder um eine flächenhafte Wirkung infolge großer Überschwemmungen in der gesamten Dünen-Namib handelt. Weitere Probennahme in größerer Entfernung der noch erkennbaren Rivierläufe wäre hierzu nötig. Das ist als Teil eines größeren Forschungsprojektes über den gesamten Namib-Erg geplant. Dann wird sich auch die aufwendigere Untersuchung der Flächentracht lohnen.

Es bleibt die Tatsache, daß die Dünen im weiteren Bereich noch abkommender oder toter Riviere wasserüberformt sind. Wie schon angedeutet, gibt

es dabei zwei Möglichkeiten: Entweder handelt es sich um rezente Überschwemmungen, oder das heutige Windregime ist zu schwach, um die alten Wasserspuren zu zerstören. Einige Fakten deuten auf letzteres sowie auf alte Wasserläufe hin:

1. Bei Gobabeb liegen wasserbeeinflusste Sande in einiger Entfernung südlich des Kuiseb, der hier mit Steilufer 10 bis 20 m in die Fläche eingesenkt ist. Damit wird die Wasserüberformung nach dem Einschneiden des Riviers unwahrscheinlich; es sei denn, man nimmt eine totale Blockierung des Flußbettes und einen Aufstau von Wassermassen an. Ein Zusammenhang mit den im Kuisebett bei Natab/Homeb gefundenen Barchan- und Stillwassersedimenten (U. RUST und F. WIENEKE 1974) erscheint nicht ausgeschlossen. Eine Erhaltung der Wasserprägung aus Zeiten vor der Canyonbildung ist unwahrscheinlich, da anschließende Dünenaktivität nachgewiesen wurde.

2. Die dünenfreien Flächen des Sandsteinplateaus südlich Gobabeb sind mit stark lichtbrechenden Windkantern aus Quarz bestreut, die detailliert untersucht wurden. — Nach verschiedenen Autoren — wie z. B. W. M. SCHOEWE (1932), C. G. HIGGINS (1956), E. BLACKWELDER (1954) — stellen Dreikanter das Endstadium der Windkanterentwicklung dar, wobei nach HIGGINS bei San Francisco schon für die First- oder Einkanterbildung mindestens Zeiten seit dem späten Pleistozän notwendig werden. Der bei Gobabeb gefundene hohe Anteil der Dreikanter von 21% spricht für noch ältere Flächen. Natürlich spielen Windverhältnisse und Sandangebot eine wichtige Rolle und erlauben keinen direkten Vergleich. Die Windkanter zeugen jedoch gegen jüngere Schichtfluten oder Überschwemmungen auf dem Plateau. Daraus folgt auch, daß der Kuiseb seine Eintiefung schon als allochthone Fluß schaffen mußte. Die Windkanter bei Rooibank konnten leider nicht näher untersucht werden. Allein ihr Vorhandensein spricht aber auch hier für lange Zeiten der Windformung nach einer eventuellen Nordverlagerung des Kuiseb-Unterlaufes.

3. Auf der Black Plain (Tsondab Flats) westlich Tsondab Vley finden sich dünne, rundliche Schwarzkalkscheiben mit leicht erhabenem Rand und Taurillen auf der Oberseite, sekundären Kalzitausscheidungen auf der Unterseite. Diese sogenannten Scheibensteine werden von K. BRYAN (1929) aus dem ariden Südwesten der USA beschrieben, wo sie nur auf alten Landoberflächen

gefunden werden, die mindestens aus dem Pleistozän stammen. Sicht man die Black Plain als Relikt eines alten Flußlaufes an, so darf der Tsondab seit dieser Zeit nicht mehr bis hierher abgekommen sein.

4. Die Auswertung von ERTS-Aufnahmen und Winddaten ergibt nach E. D. MCKEE, daß das heutige Windsystem zu schwach ist, um für die vorhandenen Dünen in der Namib verantwortlich gemacht zu werden (M. K. SEELY, priv. Mitt.).

5. Wie frühere Untersuchungen des Verfassers gezeigt haben, wandern die Hauptdünen am Nordrand des Ergs nicht mehr als Ganzes, sondern schicken nur sehr viel kleinere Vorläuferdünen aus ihren Kammsanden voraus, die den aktuellen Windverhältnissen entsprechen. Die Hauptdünen lassen sich dagegen nur durch großräumige Zirkulationsvorgänge erklären (H. BESLER 1975a).

Vieles deutet also darauf hin, daß die großen Namibdünen — zumindest in der weiteren Umgebung des Kuiseb und des vermuteten Tsondablaufes — in ihren unteren Teilen eine starke Überformung durch fließendes Wasser erfahren haben. Diese Spuren konnten sich bis heute erhalten, da offensichtlich nur die Kammsande auf die rezenten Windverhältnisse reagieren. Durch Kombination mit den eingangs geschilderten Untergrund- und Dünenverhältnissen kann auch eine Einordnung dieser Phase versucht werden. Wahrscheinlich trat sie in der Namib selbst nicht als Feuchtzeit in Erscheinung, da z. B. Windkanter und Scheibensteine dagegen sprechen. Verstärkte allochthone Fluten aus dem östlichen Hochland sind daher anzunehmen.

Ältestes faßbares Glied der Dünen-Namib-Entwicklung am Kuiseb und Tsondab sind die fossilen roten Dünen (nach H. MARTIN 1950: tertiär), die fast überall von Konglomerat- oder sonstigen Kalkkrusten gekappt werden, von denen zumindest noch eine je nach Ort sehr unterschiedliche allochthone Residualstreu vorhanden ist. Schon die Krusten selbst jedoch könnten sehr verschiedenen Alters sein nach ihrem Habitus, da z. B. die dunklen Krusten mit sehr gemischten, unterschiedlich gerundeten Bestandteilen, Taurillmuster und Windschliffrillen auf der östlichen Black Plain (Tsondab Flats) nicht ohne weiteres mit den hellen, überwiegend gut gerundete Quarzkiesel enthaltenden Krustenresten südlich Gobabeb vergleichbar sind. Die Kruste von Black Plain wirkt vom Erscheinungsbild her älter; die zahlreichen Wind-