

11304

Festschrift für Wendelin Klaer zum 65. Geburtstag
Mainzer Geographische Studien H. 34 Mainz 1990 S. 61-76

**VON WASSER UND WIND IN DER ZENTRALEN NAMIB (NAMIBIA)
- BEMERKUNGEN ZUM WENIG BEACHTETEN FEUCHTEHAUSHALT IN
DEN DÜNENSANDEN EINER NEBELWÜSTE**

Horst Eichler, Heidelberg¹

Summary

The apparent lack of sand movement along the Kuiseb line in the Gobabeb area is a phenomenon which is still not fully understood by geomorphologists. The paper deals with some basic problems of dune sandflow and the moisture balance of dune sands at the northern edge of the sand sea of the Central Namib Desert.

The data presented indicate that the moisture provided by rainfall, fog and dew precipitation does not appear to evaporate completely even under extreme conditions of wind speed and insolation.

The recharge rate of water content in the dune sands from 200 up to 3330 m³/km² at a depth between 1 and 7 cm and from 925 up to 1620 m³/km² at a depth between 25 and 50 cm is established by measuring the moisture content of numerous samples of dune sands taken after fog and rainfall between March 20th and 23rd in 1988.

The results show that the geomorphological effects of large scale wind activity seem to be substantially reduced or abolished completely when these effects happen to meet moisture-laden dune sands as is the case with the Gobabeb dune front.

¹ Dem Verfasser wären die hier vorgestellten Untersuchungen ohne die großzügige Unterstützung der Mitglieder der Desert Ecological Research Unit (DERU) in Gobabeb und seiner Direktorin, Frau Dr. M.K. SEELY, nicht möglich gewesen. Ihnen allen sei herzlich für alle Hilfen in dieser Oase der Ruhe und Kameradschaft gedankt. Der Dank gilt auch den Mitgliedern der studentischen Arbeitsgruppe, die bei den Geländearbeiten im Südsommer 1988 und bei der Auswertung kräftig mitgeholfen haben: Barbara BIRZLE, Lothar GESSERT, Katja HINZ, Thomas HIRSCH, Rainer KLINGLER, Siegfriede MÜLLER-REHM, Martin PFEIFER und Gabriele WIRTZ.

Eine einführende Widmung

Es sollte einem Geographen nicht zur Schande gereichen, sich die Fähigkeit des kindhaften Staunens noch bewahrt zu haben angesichts der Großartigkeit und intellektuellen Unfaßbarkeit mancher Gegenden unserer mancherorts doch immer noch rätselhaften Erde. Und das Glück auszukosten, in einer der Hetze des Alltags entrückten Oase der Ruhe und einer sich vielen Erklärungsversuchen des auf Vollständigkeit der Analyse aller Systemvernetzungen drängenden kühlen Intellekts entziehenden Sphäre des Einsseins mit der Natur als akademischer Lehrer seinen Studenten den Schlüssel zu einigen Geheimnissen eben dieser rätselhaften Natur bieten zu dürfen, das gehört sicherlich zu den schönsten Seiten eines Hochschullehrer-Daseins.

Vom Staunen und vom Suchen angesichts des Phänomens "Wüste", dem auch W. KLAER verfallen ist, soll der Beitrag berichten. Er ist das Ergebnis eines mit Studenten des Heidelberger Geographischen Instituts (der ehemaligen Wirkungsstätte W. KLAERS) im Februar 1988 begonnenen und vom Verfasser in zwei weiteren Forschungsreisen in den Südwintern 1988 und 1989 zum Abschluß gebrachten Forschungsprojektes in der zentralen Namib (Namibia).

Das Gebiet des Staunens - Formungsruhe an der Nordfront der Sandnamib

Eine der wenigen Photographien der südlichen Hemisphäre unserer Erde, die von den ersten bemannten Satelliten aus aufgenommen wurde - von der Besatzung von Gemini 5 wegen der sich bis in den Weltraum mitteilenden Spannung der Einmaligkeit terrestrischer Texturen im geowissenschaftlich so trefflich gewählten Ausschnitt festgehalten - ist die der zentralen Namib² (vgl. Abb. 1).

Die physiognomische Gliederung ist klar: Umrahmt von den Gebirgländern nördlich des Taleinschnittes des Swakop (periodisch abkommender Trockenfluß), dem Khomas-Hochland und den in eine Inselberg-Landschaft aufgelösten Bruchschollen des Bruchsystems der Großen Randstufe im Osten und dem teils schluchtartig eingeschnittenen Tal des Kuiseb (episodisch abkommender Trockenfluß) im Süden, liegt die auf 7-10 Millionen Jahre alt geschätzte (B.J. HUNTLEY 1985) kristalline Fläche der "Flächen-" oder "Felsnamib" (vgl. Abb. 6 und 7). Südlich der extrem scharf in Erscheinung tretenden Kuiseb-Linie (Abb. 2 und 3) erstreckt sich das in seiner Dünentextur morphographisch klare, in seiner morphodynamischen und genetischen Deutung allerdings bis heute noch unklare (A. GOUDIE 1972; H.

² Der seit H. SPREITZER (1963) so benannte Ausschnitt der Namib zwischen 21° und 24° Süd und dem bis über 2000 m hohen Randgebirge im Osten.

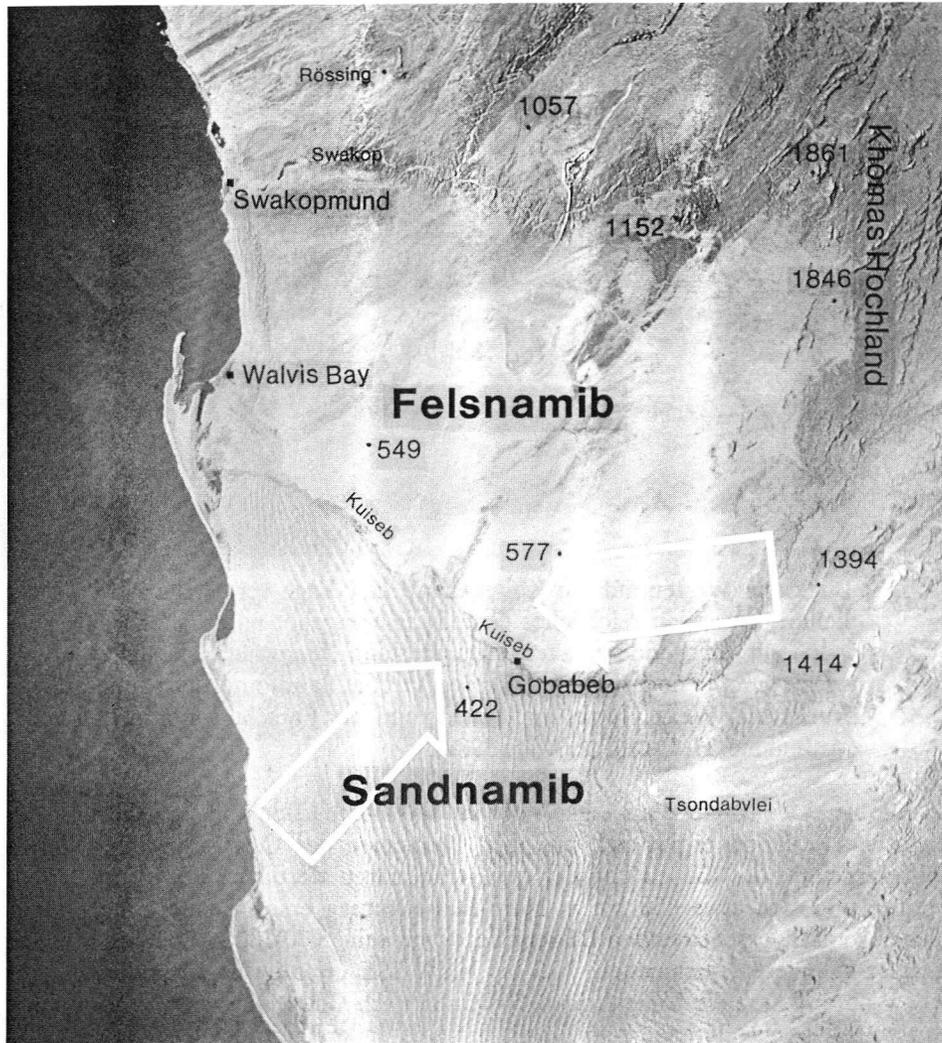


Abb. 1: Zentrale Namib.

Satellitenbild (Gemini 5) aufgenommen von G. Cooper und C.P. Conrad am 27.8.1965 aus einer Höhe von etwa 250 km. Der zu den Breitenkreisen annähernd im Winkel von 35° nach Osten verkippte Bildausschnitt zeigt die Namib zwischen 22° und 24° Süd (an der Küste gemessen), wobei die rechte untere Bildecke bei etwa 16° Ost liegt. Deutlich tritt die Kuseb-Linie als markante Landschaftsscheide zwischen Fels- und Sandnamib in Erscheinung. Die Pfeile deuten die morphodynamisch wirksamen Hauptwindrichtungen in der Fels- und Sandnamib im Bereich von Gobabeb an.

BESLER 1975 und 1976; N. LANCASTER 1980 und 1985; B. J. HUNTLEY 1985)
Sandmeer der "Dünen-" oder "Sandnamib".



Abb. 2: Blick von Westen auf die Kuiseb-Linie (zur Lage vergleiche Abb. 1). Ein dichter, durch ein reichliches Grundwasserangebot unterhaltener "Galeriewald" mit Jahrhunderte altem Baumbestand (hauptsächlich *Acacia albida*, *Acacia giraffae* und *Tamarix usneoides*) trennt Sand- und Felsnamib auf eindrucksvolle Weise. Links im Hintergrund die Forschungsstation Gobabeb (Aufnahme: H. EICHLER, März 1988).

Die wohl weltweite Einmaligkeit der im Satellitenbild dokumentierten morphologischen Situation ergibt sich aus dem Phänomen der Quasi-Formungsruhe im Mittelabschnitt des Kuiseb und der quasi-stationären Nordfront des bis zu 120 km breiten und sich etwa 650 km in Nord-Süd-Richtung erstreckenden, morphographisch so aktiv erscheinenden Dünenmeeres mit seinen 70-100 m hohen und vielen Zehner-Kilometern messenden, N-S bis NNW-SSE orientierten Megadünen-Streifen. Während sich die Longitudinal(?) -Dünen nach Osten hin weniger akzentuiert "verlaufen", ist ihre Grenze zum Kuiseb hin eine äußerst abrupte: Die Dünen fallen mit ihren "slip faces" (Leehänge) in der Regel steil zum Kuiseb-Bett ein und überlaufen dieses selbst bei Stärke 5-6 (nach Beaufort-Skala) erreichenden S- bis SW-Winden nicht (Windmessungen auf Dünenkämmen bei Gobabeb im Februar/März 1988).

Von D. WARD & V.v. BRUNN (1985) wird das Alter der so beschriebenen Nordfront der Sandnamib mit etwa 6000 Jahren, meßbare Horizontalbewegungen der Dünen mit durchschnittlich 0-20 cm, in Extremfällen mit 180 cm pro Jahr angegeben. Der maximale Sandtransport soll dabei zwischen 0,01 und 0,69 m³/m²/Jahr liegen.

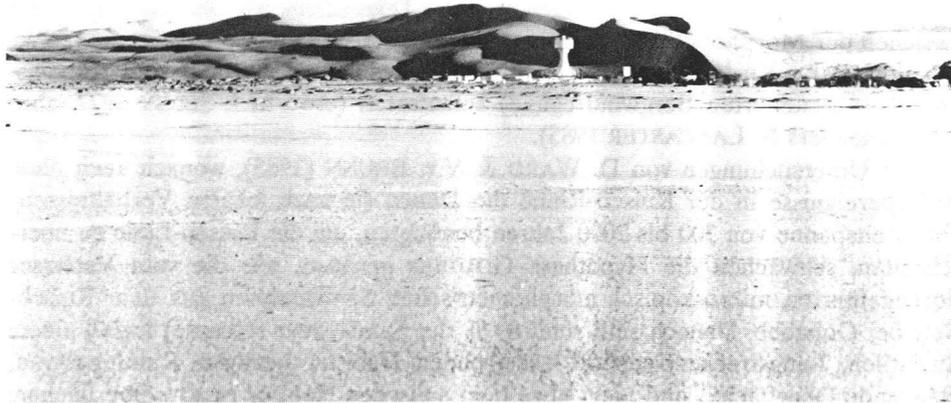


Abb. 3: Blick von der Felsnamib (gegen Süden) auf die quasistationäre Nordfront der bis über 100 Meter hohen Dünenketten der Sandnamib. An der Grenze zwischen Fels- und Sandnamib liegt die 1963 gegründete Namib-Wüstenforschungsstation Gobabeb inmitten stark degradierter granitischer Felsburgenreste (Aufnahme: H. EICHLER, Juli 1989).

M.K. SEELY & B. H. SANDELOWSKY (1974) und B.H. SANDELOWSKY (1977) berichten von Artefakten- und Holzkohlefunden am Fuße von Großdünen im Bereich von Gobabeb, deren Alter mit ca. 8000 bis annähernd 30.000 Jahren bestimmt werden konnten, was in morphodynamischer Sicht ebenfalls einen mehrtausendjährigen Dünenstillstand belegt.

Die von H. BESLER (1975) aus dem Gebiet von Gobabeb in einer Größenordnung von 300-400 cm/Jahr mitgeteilte und später von anderen Autoren verwertete Geschwindigkeit des nordwärts gerichteten Dünenwanderns bedarf daher sicherlich einer von H. BESLER (1976) selbst nachgeschobenen Befunderläuterung insofern, als sie auf einer nur wenige Meter hohen, nicht repräsentativen sog. "Vorläuferdüne" der "nicht als Ganzes" (BESLER) wandernden Hauptdünen ermittelt wurde.

Die eigenen, im Februar 1988 ausgebrachten und letztmals im Juli 1989 abgelesenen Meßmarken in den Großdünen Gobabebes haben an Null heranreichende Werte sowohl für vertikale (im Bereich von plus/minus 0,5 cm liegend) wie horizontale Formveränderungen ergeben und decken sich mit den Angaben von D. WARD & V.v. BRUNN. Ruhe also an der Kuiseb-Front, die einer Erklärung bedarf.

Verschiedene Autoren haben unterschiedliche Begründungshypothesen geliefert. Deren Variationsbreite reicht von der Annahme eines Gleichgewichts von äolischem An- und fluvialem Abtransport von Dünensanden durch den episodisch abkommenden Kuiseb (A. GOUDIE 1972) über ein schwer verständliches morphodynamisches Auseinanderklaffen von "aktuellen Windverhältnissen" entsprechenden "Kammsand-Transporten" und "großräumigen Zirkulationsvorgängen" zuzuordnen-

den Inaktivitätsformen der Hauptdünen (H. BESLER 1976) bis hin zum Versuch, die die offensichtlich mehr oder weniger ortsfeste Dünenfront als Gleichgewichtslinie zwischen der Morphopotenz zweier hier aufeinandertreffender Windsysteme (SSW-Resultante der Küstenwinde und E- bis NNE-Resultante aus dem vom Khomas-Hochland gesteuerten Bergwindregime) aufzufassen (etwa M.J. SELBY 1977, aber ganz besonders N. LANCASTER 1985).

Die Untersuchungen von D. WARD & V.v. BRUNN (1985), wonach auch ohne Abflußereignisse in der Kuiseb-Rinne die Dünen (je nach lokalen Verhältnissen) eine Zeitspanne von 300 bis 2000 Jahren benötigten, um die Kuiseb-Linie zu überschreiten, schwächen die Hypothese GOUDIES genauso, wie die vom Verfasser durchgeführten mikroskopisch-morphometrischen Sandanalysen aus dem Kuiseb-Bett bei Gobabeb. Danach sind rund 80 % der Sandkörner (Quarze) faziell einem fluviatilen, Langstreckentransport anzeigenden Habitus (geringer Rundungsgrad, glänzende Oberfläche) und nicht etwa dem äolischen Habitus (matte Oberflächen, höherer Rundungsgrad) zuzuordnen. Der Anteil des Kuiseb am Abtransport von Dünenanden scheint somit sehr gering zu sein.

Andererseits sind die an der Kuiseb-Front auftretenden Windgeschwindigkeiten immer noch so hoch (hierzu besonders P.D. TYSON & M.K. SEELY 1980), daß sie nach den BAGNOLDSchen Gesetzen des äolischen Sandtransportes (R.A. BAGNOLD 1941) zu kräftigem Sandtransport fähig wären. Die Frage nach einem weiteren, den Sandtransport an der Kuiseb-Front hemmenden morphodynamischen Faktor stellt sich hiermit.

Er wird in dem bisher in der Literatur in diesem Zusammenhang nicht oder kaum beachteten hygrischen Komplex der durch Nebel, Taufall und Regen beeinflussten Mobilitätsverminderung der Namibsande vermutet und hierzu notwendige Untersuchungen konnten im Umkreis von Gobabeb durchgeführt werden.

Gobabeb - Oase des Suchens

Die Forschungsstation Gobabeb (Namib Desert Research Institute), exakt bei 23°24' Süd und 15°03' Ost in 407 m Höhe auf der Granitfläche der Felsnamib gelegen, ist der Ausgangspunkt und das Zentrum aller Forschungen in der zentralen Namib und gleichzeitig modern ausgestattete Oase des wissenschaftlichen Suchens in einer dem Universitätsalltag fremden Atmosphäre kameradschaftlichen Umgangs und des unvoreingenommenen Gedankenaustausches.

Nur einen Steinwurf weit von der auf der anderen Kuiseb-Seite steil aufragenden Dünenmauer entfernt, läßt sich von hier aus auch apparativ aufwendigere Wüstenforschung im Gelände betreiben und mit den hier gesammelten und aus langjährigen Messungen zur Verfügung stehenden geowissenschaftlichen Daten wenigstens ansatzweise versuchen, neue Erklärungsversuche für das Phänomen des Dünenstillstandes an der Kuiseb-Front zu finden.

Meteorologische Daten der Kuiseb-Front

Die zentrale Namib im Bereich von Gobabeb wird nach H. BESLER (1972) dem Typ der "Nebelwechsel-Wüste" (BWhn-Klima nach KÖPPEN) zugerechnet. Als charakteristisches Merkmal gelten die im langjährigen Schnitt (1963-1984) an 37,2 Tagen/Jahr auftretenden Nebeldecken mit einem mittleren Nebel-Niederschlag von 30,8 mm/Jahr. Demgegenüber liegt der mittlere Regen-Niederschlag nur bei 27,2 mm/Jahr (nach Stationsangaben). Mit Nebel- und Regen-Niederschlag ist im langjährigen Mittel in allen Monaten zu rechnen, wobei sich jedoch die Monate August bis Dezember mit 3,6 bis 5,6 (September) Nebeltagen als die nebelreichsten, und die Monate Januar bis März mit durchschnittlich 5,4, 4,6 und 6,7 mm als die regenreichsten Monate darstellen.

Die in der Wetterhütte gemessenen Lufttemperaturen liegen im Jahresmittel bei 21,1 °C (14⁰⁰ Uhr-Jahresmittel bei 28,5 °C), das absolute Maximum bei 43,6 °C und das absolute Minimum bei 1,0 °C. Entgegen anders lautenden Mitteilungen (H. BESLER 1975, S. 138) ist die Nebelwechsel-Wüste bei Gobabeb nicht frostfrei! Bodenfrost mit Reifbildung konnte am Morgen des 20.7.1988 im Bereich der Felsnamib in unmittelbarer Nähe der Forschungsstation beobachtet werden - ein für die Granitverwitterung in diesem Gebiet bislang nicht in Betracht gezogenes Agens!

Starke nächtliche Abkühlungen (z.B. von 35 °C auf 17 °C vom 21. auf 22.3.1988 oder von 22 °C auf 1 °C vom 19. auf 20.7.1988 in Bodennähe) führen auch in klaren, nebelfreien Nächten regelmäßig zur Unterschreitung des Taupunktes und damit zu starkem Taufall, der in der Station Gobabeb leider nicht regelmäßig gemessen wird und mit der eigenen meteorologischen Ausrüstung auch nicht erfaßt werden konnte.

Die langjährige mittlere Tagesamplitude der Lufttemperatur in 2 m Höhe liegt bei 16,7 °C; die mittlere Anzahl der Tage mit Bodennässe durch Taufall dürfte nach eigenen Beobachtungen die der Nebeltage übertreffen. Die potentielle Evaporation wird mit etwa 3500 mm/Jahr angegeben.

Die sich aus solchen Verdunstungsraten ergebende Vollaridität stellt sich angesichts obiger Daten geoökologisch - besonders die Bodenfeuchte betreffend - allerdings anders dar (siehe unten).

Auch die von der Wetter-Hauptstation Gobabeb gemessenen Windverhältnisse bedürfen einer vorsichtigen Handhabung. Sie können nämlich - obgleich in vielen Untersuchungen immer wieder als Referenzdaten für die zentrale Namib verwendet - aus topographischen und strömungsdynamischen Gründen (Standort sowohl im Einflußbereich der bis zu 100 m hohen Dünenwand als auch der windkanalisierenden Kuiseb-Furche) nicht als gebietstypisch und für die zentrale Namib als repräsentativ angesehen werden.

Der Feuchtehaushalt in den Dünen - Ein Lösungsschlüssel?

Zur Beurteilung der geoökologisch-morphodynamischen Relevanz der Bodenfeuchte für den Sandtransport wurde in den Monaten Februar/März 1988 sowie jeweils im Juli der Jahre 1988 und 1989 in den Großdünen von Gobabeb ein Meßprogramm mit mobiler Erfassung der wichtigsten meteorologischen und den Feuchtehaushalt der Dünen betreffenden Parameter durchgeführt. Die den sehr arbeits- und apparateintensiven Geländearbeiten zugrunde liegende Fragestellung war vorrangig auf die Input-Output-Bilanzierung des Wasserhaushaltes in den Dünenanden gerichtet.

Neben Thermohygrographen, Piche-Verdunstungsmessern, elektronischen Luft- und Bodenthermometern und elektronischen Windmessern wurden auch Sonden-

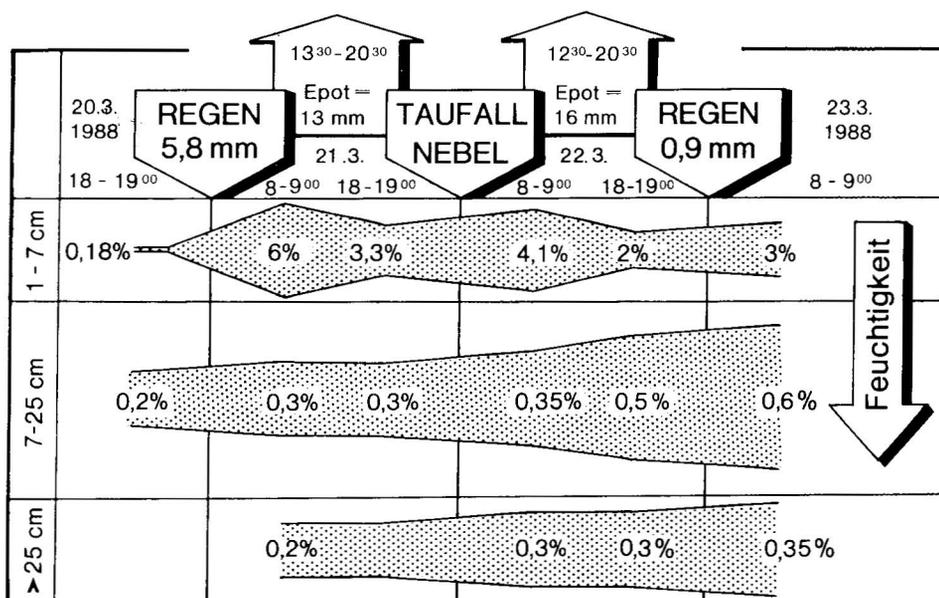


Abb. 4: Graphische Darstellung der Feuchte-Bilanzierung von Regen-, Tau- und Nebelniederschlag und potentieller Verdunstung in den Dünenanden bei Gobabeb für den Zeitraum zwischen 20. und 23. März 1988. Die Prozentzahlen geben die schwankenden oder wachsenden Feuchtegehalte im Tiefenbereich zwischen 1 und 50 cm (> 25 cm) unter der Dünenoberfläche an. Die in diesem Zeitraum sich vollziehende Feuchteaufladung besonders der tieferen Sande wird deutlich. Aus graphischen Gründen sind die gerasterten Feuchtefelder der oberen und der unteren Schichten nicht im gleichen Maßstab dargestellt.

Spezialkonstruktionen zur Einführung der Thermodrähte in den Dünen sand und zur Entnahme von ungestörten Sandproben (zur Bestimmung des Feuchtegehaltes) aus bis zu 60 cm Tiefe eingesetzt. Die Sandproben (jeweils 100 ml) wurden in luftdicht versiegelten Kunststoff-Flaschen zur gravimetrischen Feuchtebestimmung (Feuchte in Prozent des Trockengewichts) ins Labor verbracht.

Eine Auswahl vorläufiger Ergebnisse zur oben genannten Fragestellung wird hier vorgelegt.

Anhand von zwei Regen- und einem zwischengeschalteten Nebel- bzw. Tauereignis während der März-Messungen 1988 konnte eine Feuchtebilanzierung für die oberen 50 Zentimeter der Dünen sande über mehrere Tage hinweg vorgenommen werden (vgl. auch Abb. 4). Danach erhöhte sich der Feuchtigkeitsgehalt des Sandes zwischen 1 und 7 cm Tiefe nach dem in der Nacht vom 20. auf 21.3.1988 eingetretenen Regenereignis (mindestens 5,8 mm Niederschlag) von 0,18 auf 6 % und der zwischen 7 und 25 cm gemessene Feuchte wert von 0,2 auf 0,3 %. Hohe Evaporationswerte bei mittäglichen Oberflächentemperaturen von annähernd 46 °C (21.3.1988, 14 Uhr) haben zu einer Verbackung der oberen 7 Zentimeter geführt (Abb. 5) und hier den Feuchtegehalt auf 3,3 % sinken lassen. Neuerliche Einnäsungen durch Nebel- und Taufallereignisse in der Nacht zum 22.3.1988, abermalige starke Austrocknung bei Oberflächentemperaturen von 55 °C (22.3.1988, 14.30 Uhr) und ein neuerliches Regenereignis von 0,9 mm Niederschlag in der Nacht zum 23.3.1988 führten zu auf- und abschwel lenden, also "oszillierenden" Wassergehalten in den oberen Sandschichten (vgl. Abb. 4), aber gleichzeitig auch zu einer stetig zunehmenden Feuchteaufladung in den tiefer liegenden Sandschichten.

Bei maximalen Temperaturen der Sandoberfläche von 55 °C, der bodennahen Luft von 37 °C (am 22.3.1988) und einer die Niederschlagswerte um mindestens das Vierfache übertreffenden potentiellen Verdunstung (E_{pot} im Meßzeitraum nach Piche-Werten im Mittel bei etwa 20 mm/Tag) nimmt also die Sandfeuchte im Bereich der oberflächennahen, später als verbackene Kruste sich darstellenden Sande (1-7 cm Tiefe) zwischen dem 20. und 23.3.1988 um das etwa Sechzehnfache, zwischen 7 und 25 cm Tiefe um das Dreifache und in einer Tiefe zwischen 25 und 50 cm immerhin noch um das 1,75fache zu.

Oder anders ausgedrückt: Die insgesamt etwas unter 10 mm Niederschlag liefernden Regen- und Nebelereignisse wirken sich nachweislich und problemlos meßbar mindestens bis in eine das 25- bis 50fache der Niederschlagshöhe messende Sandtiefe aus. Und das bei extrem ungünstigen Randbedingungen. Alle Messungen sind nämlich im Bereich von quer zur generellen N-S-Richtung der Longitudinaldünen liegenden Dünen sät teln durchgeführt worden, wo eine deutlich ausgeprägte oberflächenparallele Sandschichtung ("accretion"-Schichtung nach R.A. BAGNOLD 1938) die Wasserversickerung in Sanden nach BAGNOLD weniger begünstigt als die im Winkel zur Oberfläche verlaufende "encroachment"-Schichtung. Auch die heftigen Winde (Windstärke 5 am 22.3.1988) sollten einer Verdunstung eher förderlich sein als einer Feuchteaufladung der Dünen.

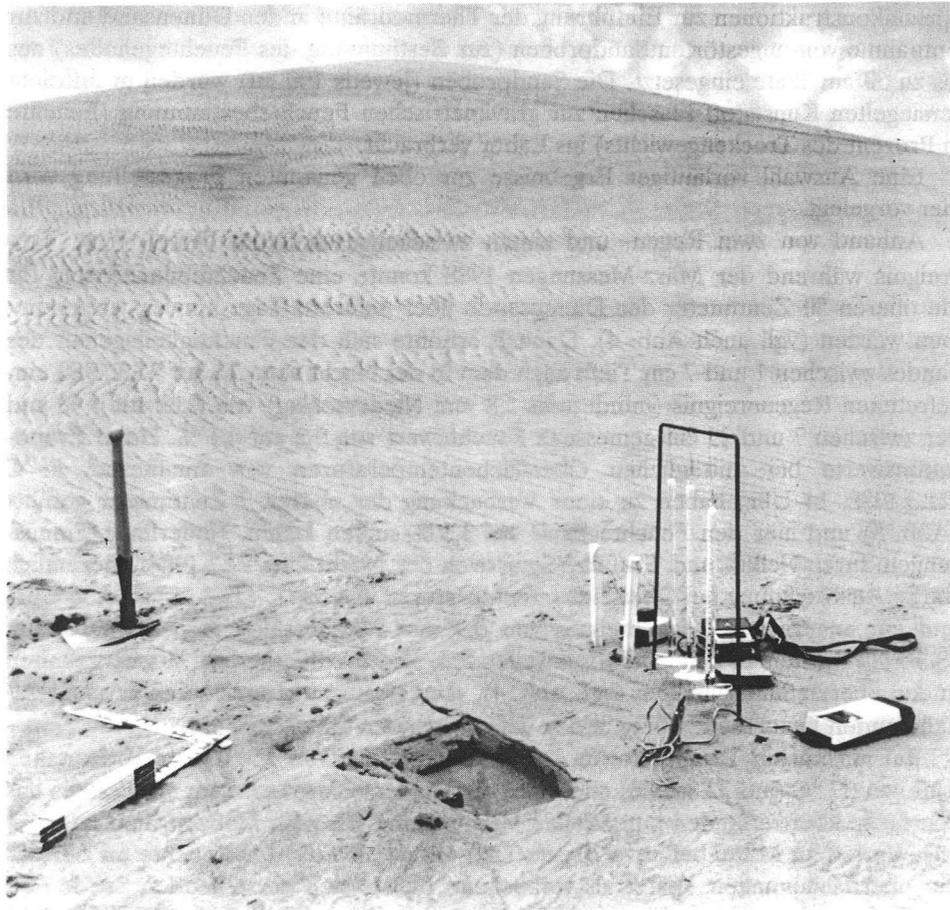


Abb. 5: Beispiel einer Meßstelle in den Dünensanden von Gobabeb mit Geräten zur elektronischen Messung der Luft-, Oberflächenverbackung der Dünensande in 1-7 cm Tiefe (bei etwa 2 % Feuchtegehalt) und die darunter liegenden, relativ locker gelagerten Sande (Feuchtegehalt zwischen 0,3 und 0,5 %). Die Verbackung bleibt auch nach der Austrocknung der Dünenoberfläche erhalten (Aufnahme: H. EICHLER, 22. März 1988, 11 Uhr).

Ein gleichsinniges Feuchteverhalten in den Dünensanden bei Gobabeb konnte auch im Wechsel nebelfeuchter und trockener Nächte zwischen dem 19. und dem 23. Juli 1988 (ohne Regenereignis) dokumentiert werden. Der Feuchtegehalt der zwischen 25 und 30 cm tief liegenden Sande hatte sich am 23. Juli 1988 von ursprünglich 0,16 auf 0,24 % erhöht.

Eine Untersuchung von tiefer als 50 cm liegenden Sanden konnte wegen der

Satzfehlerberichtigung:

70 Abb. 5: Beispiel einer Meßstelle in den Dünensanden von Gobabeb mit Geräten zur elektronischen Messung der Luft-, Oberflächen- und Sandtemperaturen sowie zur Verdunstungsbestimmung (nach Piche). Die aufgedrehte Stelle zeigt die Oberflächenverbackung der Dünensande in 1 - 7 cm Tiefe (bei etwa 2 % Feuchtegehalt) und die darunter liegenden, relativ locker gelagerten Sande (Feuchtegehalt zwischen 0,3 und 0,5 %). Die Verbackung bleibt auch nach der Austrocknung der Dünenoberfläche erhalten (Aufnahme: H. EICHLER, 22. März 1988, 11 Uhr).

technisch nicht überwindbaren Schwierigkeiten bei der ungestörten Probeentnahme in den wie eine Flüssigkeit reagierenden Sanden nicht bewerkstelligt werden, was sowohl eine Aussage über ein eventuell weiteres Vordringen der Feuchte in den tieferen Untergrund als auch über den sich in größeren Tiefen einstellenden Feuchtigkeitsgehalt nicht zuläßt.

Die unabhängig im gleichen Gebiet von S. GUTT (1988) durchgeführten und dem Verfasser erst im Nachhinein bekanntgewordenen Parallel-Untersuchungen zum Feuchtegehalt in den Dünen von Gobabeb weisen bei z.T. bis auf Dezimalstellen sich ähnelnden Feuchtegehalten in die gleiche Richtung, wiewohl die Interpretation der Ergebnisse unterschiedlich ist und eine geoökologisch-morphodynamische Wertung des Feuchtegehaltes nicht vorgenommen wird.

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, daß die für den im Sinne H. BESLERS (1972) als Nebelwechsel-Wüste bezeichneten Mittelabschnitt der zentralen Namib typischen Regen- und Nebelniederschläge auch bei hohen Einstrahlungs- und Windwerten nicht verdunsten, sondern vielmehr versickern und zu einer langzeitigen Feuchteaufladung tieferer Sandschichten führen. Von S. GUTT wird nach einem 14,6 mm-Regenereignis ein dreißigtägiges Absinken der feuchtesten Schicht bis in eine Tiefe von 50 cm dokumentiert.

Die geoökologische Wertigkeit dieser anscheinend nur geringen Feuchtegehalte der Dünenande wird in ihrer morphodynamischen Relevanz allerdings erst dann in vollem Umfang ermeßbar, wenn die Wassergehalte der Dünenande auf Flächen und Volumina hochgerechnet werden: Danach bedeutet der Feuchteanstieg für die zwischen 1-7 cm Tiefe liegende Sandschicht von 0,18 auf 3 % zwischen 20. und 23.3.1988 (bei einer Dichte des Dünenandes von $d = 1,85$) einen Anstieg des Wassergehaltes von 0,2 auf 3,33 Liter Wasser pro Quadratmeter oder von rund 200 m^3 auf $3.330 \text{ m}^3/\text{km}^2$ im Sand gebundenen Wassers! Die zwischen 7 und 25 cm Tiefe liegende 18 cm dicke Sandschicht speichert am 23.3.1988 eine Wassermasse von rund $1.990 \text{ m}^3/\text{km}^2$ und selbst der Anstieg des mittleren Feuchtegehaltes von 0,2 auf "nur" 0,35 % in der zwischen 25 und 50 cm liegenden Sandschicht (zwischen 21. und 23.3.1988) entspricht noch einer Feuchteaufladung von etwa 925 m^3 auf etwa 1.620 m^3 Dünenwassers pro Quadratkilometer!

Die Antwort auf die Frage, ob dieses Dünenwasser sich als "schwebendes" Grundwasser in den Großdünen darstellt oder "echte" Grundwasserkörper an der Dünenbasis speist (wofür es vegetationsbezogene Hinweise gibt), versagt sich den angewandten Untersuchungsmethoden.

Mit größter Sicherheit kann allerdings davon ausgegangen werden, daß - im Gegensatz zu H. BESLER (1975) - Nebel- und Regenfeuchte wohl ein Hindernis für die windgesteuerte Sandbewegung im Gebiet von Gobabeb und somit an der Nordfront der Sandnamib darstellt, zumal Sandverbackungen durch Feuchteeinwirkung auch nach dem Abtrocknen als morphodynamisch relevante Verhärtungs- und Verdichtungszonen bis in Tiefen von 50 cm (mit Ausnahme der Kammregionen) überall in den Großdünen an der Kuiseb-Linie nachweisbar sind.



Abb. 6 und 7: Stark windüberformte granitische Restblöcke ehemaliger Felsburgen auf der schwächer als 1 Promille geneigten Verebnungsfläche der Felsnamib 18,5 km nördlich von Gobabeb (Aufnahmen: H. EICHLER, März 1988).

Bemerkungen zur Windaktivität an der Kuiseb-Front

Das besonders von P.D. TYSON & M.K. SEELY (1980) und von N. LANCASTER (1980) für den Bereich der zentralen Namib beschriebene polymodale Windregime wird großräumig von dem im Sommer bei 30° Süd liegenden Südatlantischen Hoch und seinen vor allem in den Monaten September bis Januar sehr starken, bis in die Gegend von Gobabeb reichenden SSW-SW-Winden und der winterlich sehr kräftig ausgebildeten Südafrikanischen Antizyklone bestimmt, der wiederum Winde aus nördlichen Richtungen entstammen.

Allerdings werden letztere in den Wintermonaten (April-August) in ganz starkem Maß von den orographisch bedingten, aus den östlichen Hochländern als Kaltluftmassen abströmenden "Bergwinden" überlagert, die sich in den bis 1500 m tiefer liegenden Flächen der Felsnamib als sehr energiereiche, heiße E-NNE-Winde darstellen und selbst wiederum durch topographische Besonderheiten (wie z.B. Talfurchen) lokale Richtungsmodifikationen erfahren.

Um in diesen komplexen Windverhältnissen den morphodynamisch relevanten und regional gültigen Vektor zu bestimmen (die Windmessungen der Station Gobabeb sind aus oben schon genannten Gründen nicht verwendbar), wurde die rezente Windüberformung an 188 Restblöcken ehemaliger Felsburgen auf der sich seit vielen Millionen Jahren in Einebnung befindlichen Fläche der Felsnamib 18,5 km nördlich von Gobabeb untersucht und statistisch dargestellt (vgl. Abb. 8-10).

Die meist völlig frei daliegenden und allen Formungseinflüssen allseits offen ausgesetzten Granit-Blöcke (porphyrische, grobkörnige Varietät des sog. "Salem-Granits" kambrischen Alters) sitzen einer schwächer als 1 Promille geneigten, von einer Grussschicht (über Gipskruste) überzogenen, sich über Hunderte von Quadratkilometern erstreckenden Verebnungsfläche auf (vgl. Abb. 6 u. 7).

96,3 % aller Blöcke zeigen Formen des Windschliffs (Facetten, Schliffkehlen, Glättungen u.ä.), von denen wiederum 74,3 % auf eine durch E- und SE-Winde erfolgte Formung hinweisen (vgl. Abb. 8). Auf die gleiche Formungsrichtung des Windes läßt die Exposition der Formen der rezenten Tafone-Verwitterung schließen (vgl. Abb. 9), ist doch deren Vorkommen nur durch Feuchtebedingungen zu erklären, wie sie auf der den heißen E-Winden abgewandten Leeseite der Blöcke anzutreffen sind. Diese im Windschattenbereich vermutete, die Tafonierung steuernde Feuchte (auch Prozesse der Frostverwitterung sind denkbar) ist aufgrund biotischer Indizien als sicher anzunehmen: 39,4 % aller Blöcke zeigen nämlich einen krypto-endolithischen (also unter Gesteinsschuppen und in Spalten und Klüften angesiedelten) Flechtenbesatz - ebenfalls im feuchtebegünstigten Milieu, also in der der Windtrocknung entzogenen W- bis N-Exposition (vgl. Abb. 10).

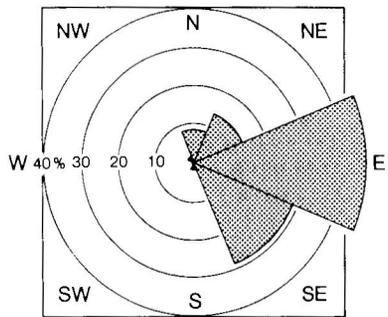


Abb. 8: Statistische Darstellung der Exposition diverser Windschliff-Phänomene (222 vermessene Fälle) an Granitblöcken der Felsnamib 18,5 km nördlich von Gobabeb. 96,3 % aller Blöcke (von 188 untersuchten Exemplaren) zeigen deutliche Windüberarbeitung.

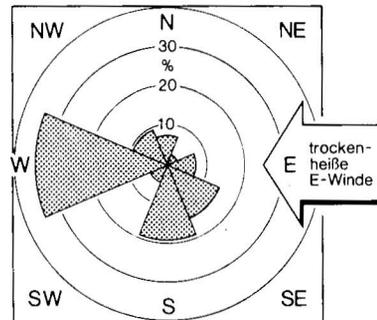


Abb. 9: Statistische Darstellung der Exposition aller Erscheinungen der Tafone-Verwitterung an Granitblöcken der Felsnamib 18,5 km nördlich von Gobabeb. 22 % aller Blöcke (von 188 untersuchten Exemplaren) zeigen Tafonierungserscheinungen mit einem Maximum im Windschattenbereich.

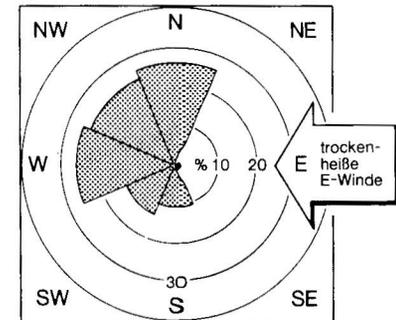


Abb. 10: Statistische Darstellung der Exposition des Flechtenbesatzes (vor allem krypto-endolithische Arten) an Granitblöcken der Felsnamib 18,5 km nördlich von Gobabeb. 39,4 % aller Blöcke (von 188 untersuchten Exemplaren) zeigen diesen Besatz mit einem Maximum im Lee der heißen östlichen Winde.

Ergebnis des Suchens

So zeigt sich die Kuiseb-Linie als akzentuierte Grenze zwischen der morphodynamischen Aktivzone hoher äolischer Morphopotenz im Bereich der von den energiereichen Ostwinden bestrichenen, großräumig aber Formungsruhe vortäuschenden Flächenareale der Felsnamib und den morphodynamisch hochaktiv scheidenden, aber realiter sich in Formungsruhe befindlichen Großdünenfeldern der Nordfront der Sandnamib. Diese Formungsruhe ist allerdings weder aus dem Postulat, die Großdünen rundum als Vorzeitformen einzustufen noch unter der Annahme eines zwischen polyvektoralen Windfeldern sich einstellenden strömungs- und deshalb morphodynamischen Gleichgewichts hinreichend erklärt. Nach den oben mitgeteilten Beobachtungen und Untersuchungsergebnissen zur Bilanzierung des Feuchtehaushaltes in den Dünenlanden am mittleren Kuiseb scheint mit hoher Wahrscheinlichkeit festzustehen, daß den Nebel- und Regenereignissen und damit der Feuchteaufladung der Dünenlande eine geökologisch-morphodynamisch außerordentlich hohe Valenz beigemessen werden muß, die die Ausblasungsresistenz der Dünenlande erheblich steigert. Dadurch könnte die hier theoretisch noch vorhandene Morphopotenz eines großräumig aktiven Windsystems lokal oder regional in hohem Maße vermindert oder gar aufgehoben werden.

Literatur

- BAGNOLD, R.A. (1938): Grain structure of sand dunes and its relation to their water content. - In: Nature, Vol. 142, 403-404
- BAGNOLD, R.A. (1941): The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. London
- BESLER, H. (1972): Klimaverhältnisse und klimageomorphologische Zonierung der zentralen Namib (Südwestafrika). (= Stuttgarter Geogr. Studien, Bd. 83)
- BESLER, H. (1975): Messungen zur Mobilität von Dünenlanden am Nordrand der Dünen-Namib (Südwestafrika). (= Würzburger Geogr. Arbeiten, H. 43, 135-147)
- BESLER, H. (1976): Wasserüberformte Dünen als Glied der Landschaftsgenese der Namib. - In: Mitt. d. Basler Afrika Bibliographien, Vol. 15, 83-106
- GOUDIE, A. (1972): Climate, weathering, crust formation, dunes and fluvial features of the Central Namib Desert, near Gobabeb, SWA. - In: Madoqua, Vol. 2, No. 1, 54-62
- GUTT, S. (1988): Untersuchungen zum Feuchtehaushalt in den Dünen der zentralen Namib (Namibia-Südwestafrika). - Dipl. Arb. Geogr. Institut der Universität Zürich. Maschinenschriftlich
- HUNTLEY, B.J. (Editor) (1985): The Kuiseb environment: The development of a monitoring baseline. - In: South African National Scientific Programmes Report No. 106, Pretoria
- LANCASTER, N. (1980): Dune Systems and Palaeoenvironments in Southern Africa. - In: Palaeont. afr., Vol. 23, 185-189
- LANCASTER, N. (1985): Winds and Sand Movement in the Namib Sand Sea. - In: Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 10, 607-619
- ROBINSON, M.D., M.K. SEELY (1980): Physical and biotic environments of the southern Namib dune ecosystem. - In: Journal of Arid Environments. Vol. 3. No. 3, 183-203
- SANDELOWSKY, B.H. (1977): Mirabib - an archaeological study in the Namib. - In: Madoqua. Vol. 10, No. 4, 221-283

- SEELY, M.K., B.H. SANDELOWSKY (1974): Dating the regressing of a river's end point. - In: South African Arch. Bull., Goodwin Ser., No. 2, 61-64
- SELBY, M.J. (1977): Palaeowind direction in the Central Namib Desert as indicated by ventifacts. - In: Madoqua, Vol. 10. No. 3, 195-198
- SPREITZER, H. (1963): Die zentrale Namib. - In: Mitt. d. Österr. Geogr. Ges. Wien, Bd. 105, 340-356
- TYSON, P.D., M.K. SEELY (1980): Local winds over the Central Namib. - In: South African Geographical Journal, Vol. 62, No. 2, 135-150
- WARD, D., V.v. BRUNN (1985): Sand Dynamics along the Lower Kuiseb River. - In: HUNTLEY, B.J. a.a.O., 51-72

Dr. Horst Eichler M.A.
Geographisches Institut
Ruprecht Karl-Universität
Im Neuenheimer Feld 348
D-6900 Heidelberg